

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
ЛУГАНСКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ  
ЛУГАНСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
имени ВЛАДИМИРА ДАЛЯ**

# **ВЕСТНИК**

**ЛУГАНСКОГО  
НАЦИОНАЛЬНОГО УНИВЕРСИТЕТА  
имени ВЛАДИМИРА ДАЛЯ**

**№ 4 (6)  
ЧАСТЬ 2  
2017**

**I МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ  
ИНТЕРНЕТ-КОНФЕРЕНЦИЯ  
"АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ МЕХАНИКИ ТЕКУЧИХ СРЕД",  
ПРИУРОЧЕННОЙ К 60-ЛЕТИЮ ОБРАЗОВАНИЯ  
КАФЕДРЫ «ГИДРОГАЗОДИНАМИКА»**

**НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ**

Луганск 2017

# ВЕСТНИК

ЛУГАНСКОГО НАЦИОНАЛЬНОГО  
УНИВЕРСИТЕТА  
ИМЕНИ ВЛАДИМИРА ДАЛЯ

№ 4(6) Ч.2 2017

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ  
ОСНОВАН В 2015 ГОДУ

ВХОДИТ В БАЗУ  
РИНЦ

ОСНОВАТЕЛЬ

Луганский национальный университет  
имени Владимира Даля

Журнал зарегистрирован в Министерстве  
информации, печати и массовых коммуникаций  
Серия № ПИ 000108 от 08 июня 2017 г.

Свидетельство о государственной регистрации  
Издателя, изготовителя и распространителя  
средства массовой информации

МИ-СРГ ИД 000003 от 20 ноября 2015г.

# VESTNIK

LUGANSK VLADIMIR DAHL  
NATIONAL UNIVERSITY

№ 4(6) P.2 2017

THE SCIENTIFIC JOURNAL  
WAS FOUNDED IN 2015

INCLUDED INTO THE BASE OF  
RISC

Founder

Lugansk Vladimir Dahl  
National University

Journal is registered by the Ministry of Information,  
Publishing and Mass Communications  
Series № PI 000108 of June, 08 2017

State Registration Certificate of Publisher,  
Producer and Distributor of means of mass  
information

MI-SRG ID 000003 of November, 20 2015

В журнале публикуются результаты диссертационных работ на соискание ученой степени доктора и кандидата технических, гуманитарных, экономических, общественных, юридических, педагогических, исторических, химических и физико-математических наук.

ISSN 2522-4905

## Главная редакционная коллегия :

Свиридова Н.Д., докт. экон. наук, (главный редактор),  
Корсунов К.А., докт. техн. наук, (зам. главн. редактора),  
Витренко В.А., докт. техн. наук (зам. главн. редактора),  
Ver R., dr hab,  
Авершин А.А., канд. техн. наук,  
Андрійчук Н.Д., докт. техн. наук,  
Артемченко В.А., докт. экон. наук,  
Атоян А.И., докт. филос. наук,  
Белых А.С., докт. пед. наук,  
Болдырев К.А., докт. экон. наук,  
Будиков Л.Я., докт. техн. наук,  
Гедрович А.И., докт. филос. наук,  
Губачева Л.А., докт. техн. наук,  
Гутько Ю.И., докт. техн. наук,  
Дейнека И.Г., докт. техн. наук,  
Дрозд Г.Я., докт. техн. наук,  
Евдокимов Н.А., докт. ист. наук,  
Ерошин С.С., докт. техн. наук,  
Захарчук А.С., докт. техн. наук,  
Замота Т.Н., докт. техн. наук,  
Исаев В.Д., докт. филос. наук,  
Клименко А.С., докт. филол. наук,  
Коваленко А.А., канд. техн. наук, проф,  
Кожемякин Г.Н., докт. техн. наук,  
Коробецкий Ю.П., докт. техн. наук,  
Кривоколыско С.Г., докт. хим. наук,  
Крохмалева Е.Г., канд. пед. наук,  
Куликов Ю.А., докт. техн. наук,

Лазор В.В., докт. юридич. наук,  
Лазор Л.И., докт. юридич. наук,  
Лустенко А.Ю., докт. филос. наук,  
Ляпин В.П., докт. биол. наук,  
Максимова Т.С., докт. экон. наук,  
Максимов В.В., докт. экон. наук,  
Мечетный Ю.Н., докт. мед. наук,  
Мирошников В.В., докт. техн. наук,  
Мортиков В.В., докт. экон. наук,  
Нечаев Г.И., докт. техн. наук,  
Панайотов К.К., канд. техн. наук,  
Родионов А.В., докт. экон. наук,  
Рябичева Л.А., докт. техн. наук,  
Рябичев В.Д., докт. техн. наук,  
Санжаров С.Н., докт. ист. наук,  
Семина Д.А., докт. техн. наук,  
Скляр П.П., докт. психол. наук,  
Слащев В.А., канд. техн. наук, проф,  
Старченко В.Н., докт. техн. наук,  
Тарарычкин И.А., докт. техн. наук,  
Тисунова В.Н., докт. экон. наук,  
Ульшин В.О., докт. техн. наук,  
Утутов Н.Л., докт. техн. наук,  
Фесенко Ю.П., докт. филол. наук,  
Шамшина И.И., докт. юридич. наук,  
Шелюто В.М., докт. филос. наук,  
Яковенко В.В., докт. техн. наук

**Ответственный за выпуск:** Мальцев Я.И.

Рекомендовано в печать Ученым советом Луганского национального университета имени Владимира Даля (Протокол № 4 от 24.11.2017 г.)

Материалы номера печатаются на языке оригинала.

© Луганский национальный университет имени Владимира Даля, 2017  
© Lugansk Vladimir Dahl National University, 2017

**СО Д Е Р Ж А Н И Е**

ИССЛЕДОВАНИЕ ФАЗОВЫХ ПЕРЕХОДОВ «ПЛАВЛЕНИЕ – КРИСТАЛЛИЗАЦИЯ» В РАСПЛАВАХ <i>Недопекин Ф.В., Дмитрук М.Ю.</i> .....	9
УЛЬТРАСТРУИ КАК ИНСТРУМЕНТ ТУШЕНИЯ ПОЖАРОВ ГАЗОВЫХ ФАКЕЛОВ <i>Недопекин Ф.В., Шерстюк Ю.В.</i> .....	12
ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ПРИВОДА НА КОНИЧЕСКИХ АЭРОСТАТИЧЕСКИХ ОПОРАХ ПРИ МОДЕРНИЗАЦИИ ЕГО ОПОРНОЙ СИСТЕМЫ <i>Брешев В. Е.</i> .....	17
ПОВЫШЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ПОДАВЛЕНИИ БУРОГО ДЫМА АЗОТНО-ВОДНЫМ АЭРОЗОЛЕМ <i>Белюсов В.В., Бодряга В.В., Бондаренко В.И., Недопекин Ф.В.</i> .....	21
КРИТЕРИИ ЭФФЕКТИВНОСТИ УСТРОЙСТВ КАСКАДНО-ТЕПЛОВОГО СЖАТИЯ <i>Данилейченко А.А., Рассадин Д.И., Теренин О.Ю.</i> .....	26
ИНТЕГРАЦИЯ ГЛОБАЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ БУДУЩЕГО С ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫМИ ТРАНСПОРТНЫМИ СИСТЕМАМИ <i>Косоногова Л. Г. Кобылинский А.Ю.</i> .....	30
РОЛЬ СМАЧИВАНИЯ В СОЗДАНИИ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ <i>Рябичева Л.А., Скачко Н.А.</i> .....	33
ПРЕДПРИЯТИЕ ОТКРЫТОЙ УГЛЕДОБЫЧИ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ РЫНОЧНОЙ ЭКОНОМИКИ <i>Косоногова Л.Г., Шилов В.Ю.</i> .....	38
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЕРТИКАЛЬНЫХ ДВУХФАЗНЫХ ТЕЧЕНИЙ В АЭРОТЕНКАХ С ПНЕМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМОЙ АЭРАЦИИ <i>Недопекин Ф.В., Лучина А.Ю.</i> .....	41
УПРАВЛЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫМИ ПОТОКАМИ В ОБЕСПЕЧЕНИИ ЛОГИСТИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА <i>Косоногова Л.Г., Стручалин А. Д.</i> .....	47
МОДЕЛИРОВАНИЕ НАНОТРАНЗИСТОРОВ В ПАКЕТЕ NI MULTISIM <i>Бобровский Г.А.</i> .....	50
ПРОПУСКНАЯ СПОСОБНОСТЬ ЗАГРУЗОЧНОГО ОКНА ПИТАТЕЛЯ АВТОМОБИЛЬНОГО ГАЗОГЕНЕРАТОРА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СКОРОСТИ ИСТЕЧЕНИЯ ПЕЛЛЕТ <i>Губачева Л.А., Шевченко Д.Ю.</i> .....	55
АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ПРОКОЛОВ ИГЛЫ НА СТРУКТУРУ ТКАНИ <i>Дейнека И.Г.</i> .....	60
МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКОГО УСИЛИТЕЛЯ С СОПЛОМ-ЗАСЛОНКОЙ В УПРАВЛЯЮЩЕМ КАСКАДЕ <i>Коваленко А.А., Чубарова И.А., Левенцев М. В.</i> .....	64

АНАЛИЗ И РАСЧЕТ ПРОТЯГИВАЮЩЕГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ УГЛЕКОМПОЗИТНЫХ СТЕРЖНЕЙ МЕТОДОМ ПУЛТРУЗИИ <i>Коструб В.А., Панфилов А.М., Шенкман Г.Л.</i> .....	69
ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ФОРМОВАНИЯ ТОЛСТОСТЕННЫХ КОМПОЗИТНЫХ ИЗДЕЛИЙ МЕТОДОМ ПУЛТРУЗИИ <i>Коструб В.А., Вербская Л.М., Панфилов А.М.</i> .....	73
ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ РАБОТЫ СЕТИ 6 КВ С КОМПЕНСИРОВАННОЙ НЕЙТРАЛЬЮ В РЕЖИМЕ ОДНОФАЗНОГО ЗАМЫКАНИЯ НА ЗЕМЛЮ <i>Кузьменко Д.И., Яременко С.П.</i> .....	78
РАСЧЕТ УРОВНЯ КОРОННЫХ РАЗРЯДОВ, ВОЗНИКАЮЩИХ ПРИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ МЕТОДЕ ИЗМЕРЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ЧАСТИЧНЫХ РАЗРЯДОВ В СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРАХ С ПОДВОДИМЫМ НАПРЯЖЕНИЕМ 6-330 кВ <i>Сырцов А.И., Половинка Д.В., Парсентьев О.С.</i> .....	83
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕЗОНАНСНЫХ ГАЗОДИНАМИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ ВО ВСАСЫВАЮЩЕЙ СИСТЕМЕ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ПОРШНЕВЫХ КОМПРЕССОРОВ <i>Рутковский Ю.А., Рутковский А.Ю.</i> .....	89
МЕТОДЫ, СХЕМЫ И СРЕДСТВА ВОДОПОНИЖЕНИЯ УРОВНЯ ГРУНТОВЫХ ВОД В СОВРЕМЕННОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ <i>Квенцель А.Л., Ремень В.И.</i> .....	96
ОЦЕНКА СИММЕТРИЧНОСТИ ТЯГОВЫХ И СКОРОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ГИДРОСЛЕДЯЩЕГО ПРИВОДА С ОДНОШТОКОВЫМИ ЦИЛИНДРАМИ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ <i>Скляревский А.Н.</i> .....	100
УЛУЧШЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СЕРВОКЛАПАНОВ В УСЛОВИЯХ ОГРАНИЧЕНИЯ УПРАВЛЯЮЩЕГО СИГНАЛА <i>Ткачев Р.Ю., Бойко Н.З., Тумин А.Н.</i> .....	105
РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ГИДРОПРИВОДОМ ЩЕКОВОЙ ДРОБИЛКИ <i>Тумин А.Н., Ткачев Р.Ю., Левченко Э.П.</i> .....	110
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРИВОДОВ НА АЭРОСТАТИЧЕСКИХ ОПОРАХ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ <i>Утутов Н.Л.</i> .....	115
СПОСОБ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ ЖИДКОСТИ И УСТРОЙСТВО ДЛЯ ЕГО РЕАЛИЗАЦИИ <i>Чебан В.Г.</i> .....	119
ОЦЕНКА МАГНИТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРИ ЛОКАЛЬНОМ НАМАГНИЧИВАНИИ ПРИСТАВНЫМИ ЭЛЕКТРОМАГНИТАМИ <i>Шатова Н.А.</i> .....	124
К РАСЧЕТУ МАГНИТНОГО ДАТЧИКА ПЕРЕМЕЩЕНИЯ УПРОЩЕННОЙ КОНСТРУКЦИИ <i>Яковенко В.В., Тарасенко О.В., Креселюк Ю.В., Ивженко А.А.</i> .....	127
ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ТЕЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОЛИТА ПРИ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ <i>Ямковая М.А., Бойко Н.З., Шадрин С.В.</i> .....	134

СКВОЗНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ В МАШИНОСТРОЕНИИ <i>Ясуник С.Н., Волков И.В.</i> .....	140
ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ В ЗОНАХ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКА <i>Коровин М.А.</i> .....	144
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АБСОРБЦИОННЫХ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ <i>Муслина Д.Б., Царик Е.В., Василевский О.В., Чайковский М.С.</i> .....	149
РОЛЬ И МЕСТО МАЛОГО БИЗНЕСА И ЧАСТНОГО ПРЕДПРИНИМАТЕЛЬСТВА В ИННОВАЦИОННОЙ ЭКОНОМИКЕ <i>Калюжный В.В.</i> .....	153
ОБОСНОВАНИЕ АКТУАЛЬНОСТИ ПРОБЛЕМЫ ДЛЯ НАЧАЛА ЕЕ ИССЛЕДОВАНИЯ <i>Бугаевская Ю.Ю.</i> .....	159
ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА МОДЕЛИРОВАНИЯ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ И ТЕПЛОМАССОБМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ В АГРЕГАТЕ КОВШ-ПЕЧЬ <i>Белюсов В.В., Бодряга В.В., Бондаренко В.И., Недопекин Ф.В., Сухарева С.Ф.</i> .....	166
ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОЛОГИИ АКВАТРОНИКИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ ВОДОСНАБЖЕНИЯ И ВОДООТВЕДЕНИЯ <i>Николенко И., Салиев Э.</i> .....	171
ХАРАКТЕРИСТИКИ ГИДРОПРИВОДА ПРИ ДРОССЕЛЬНОМ СПОСОБЕ РЕГУЛИРОВАНИЯ С ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКОЙ ДРОССЕЛЯ <i>Бугаенко В.В., Брюховецкая Е.В.</i> .....	181
СНИЖЕНИЕ ПОТЕРЬ ЭНЕРГИИ ПРИ РАБОТЕ ПРЕССОВ С НАСОСНО-АККУМУЛЯТОРНЫМ ГИДРОПРИВОДОМ <i>Гойдо М.Е., Бодров В.В., Багаутдинов Р.М.</i> .....	189
СНИЖЕНИЕ ПОТЕРЬ ПЕРЕКАЧИВАЕМОЙ СРЕДЫ В ВИХРЕКАМЕРНЫХ НАГНЕТАТЕЛЯХ <i>Сёмин Д.А., Левашов А.Н., Левашов Я.Н., Погонина Н.А.</i> .....	196
АНАЛИЗ СРЕДСТВ И МЕТОДОВ УПРАВЛЕНИЯ ПЕРСОНАЛОМ ПРЕДПРИЯТИЯ <i>Варнавская Д.С.</i> .....	200
ИСТОРИЯ ГОРОДА СТАХАНОВА ОТ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ДО СТАНОВЛЕНИЯ <i>Гречишкина Е.С.</i> .....	204
ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКЦИИ КАНАЛА ПИТАНИЯ НА ПРОПУСКНУЮ СПОСОБНОСТЬ ВИХРЕВОГО КЛАПАНА <i>Сёмин Д. А., Левашов Я. Н., Левашов А. Н., Первалов В. В., Первалова Н. И.</i> .....	209
СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ПОНДЕРОМОТОРНЫХ СИЛ, РАЗВИВАЕМЫХ СОВРЕМЕННЫМИ КОНСТРУКЦИЯМИ ПОДВЕСНЫХ ЖЕЛЕЗОТДЕЛИТЕЛЕЙ С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ НА Nd-Fe-B И Fe-Ba ОСНОВЕ <i>Парсентьев О.С., Яковенко В.В.</i> .....	214

## CONTENTS

PHASE TRANSITION “FUSION – CRYSTALLIZATION” IN MELT RESEARCH <i>Nedopekin F.V., Dmitruk M.U.</i> .....	9
ULTRAJET AS A TOOL FOR EXTINGUISHING OF THE GAS TORCH <i>Nedopyokin F.V., Sherstiuk Yu.V.</i> .....	12
CHARACTERISTICS STUDYING OF CONICAL AEROSTATIC DRIVE THROUGH MODERNIZATION OF BEARING SYSTEM <i>Breshev V.E.</i> .....	17
ENVIRONMENTAL SAFETY IMPROVEMENT IN SUPPRESSION OF A RED FUME BY NITROGEN-WATER AEROSOL <i>Bilousov V., Bodryaga V., Bondarenko V., Nedopekin F.</i> .....	21
CRITERIA OF EFFICIENCY OF DEVICES OF CASCADE-THERMAL COMPRESSION <i>Danileychenko A.A., Rassadin D.I., Terenin O.Yu.</i> .....	26
THE INTEGRATION OF GLOBAL TECHNOLOGIES OF THE FUTURE WITH INTELLIGENT TRANSPORT SYSTEMS <i>Kosonogova L. G., Kobylinskiĭ, A.Y.</i> .....	30
THE ROLE OF WETTING IN DEVELOPMENT OF COMPOSITE MATERIALS <i>Ryabicheva L.A., Skachko N.A.</i> .....	33
ENTERPRISE OF OPEN COAL MINING IN COLLECTIONS OF MODERN MARKET ECONOMY <i>Kosonogova L.G., Shilov V.Y.</i> .....	38
INVESTIGATION OF VERTICAL TWO-PHASE FLOWS IN AEROTENKS WITH THE PNEUMATIC SYSTEM OF AERATION <i>Nedopekin F.V., Luchyna A.Y.</i> .....	41
CONTROL OF INFOMATIC FLOWS IN SUPPORT LOGISTICS PROCESS <i>Kosonogova L.G., Struchalin A.D.</i> .....	47
NANOTRANSISTORS MODEL IN NI MULTISIM PACKAGE <i>Bobrowskiy G.A.</i> .....	50
CAPACITY OF THE LOADER WINDOW OF AUTOMOBILE GAS GENERATOR DEPENDING ON THE SPEED OF PELLET EXPOSURE <i>Gubacheva L.A., Shevchenko D. Y.</i> .....	55
ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF PUNCTURE NEEDLES ON THE FABRIC <i>Deineka I.G.</i> .....	60
MATHEMATICAL MODEL OF HYDRODYNAMIC CHARACTERISTICS OF ELECTROHYDRAULIC AMPLIFIER WITH FLAPPER-NOZZLE IN THE CONTROLLING CASCADE <i>Alim A. Kovalenko, Irina A. Chubarova, Maksim V. Leventsev</i> .....	64
ANALYSIS AND CALCULATION OF THE BROACHING DEVICE FOR THE MANUFACTURE OF CARBON-CMPOSITE RODS BY THE PULTRUSION METHOD <i>Kostrub V.A., Panfilov A.M., Shenkman G.L.</i> .....	69
INVESTIGATION OF PECULIARITIES OF FORMATION OF THICK-WALLED COMPOSITE PRODUCTS BY PULTRUSION METHOD <i>Kostrub V.A., Verbskaya L.M., Panfilov A.M.</i> .....	73

---

IMPROVING THE RELIABILITY OF THE NETWORK 6 KV WITH COMPENSATED NEUTRAL IN THE MODE OF SINGLE-PHASE GROUND FAULT <i>Kuzmenko D.I., Yaremenko S.P.</i> .....	78
CALCULATION OF THE LEVEL OF CORONARY DISCHARGES ARISING FROM ELECTRICAL METHOD OF MEASUREMENT OF CHARACTERISTICS PARTIAL DISCHARGE IN POWER TRANSFORMERS WITH UNDER VOLTAGE 6-330 kV <i>Syrtsov A.I., Polovinka D.V., Parsentiev O.S.</i> .....	83
USE OF RESONANT GASODYNAMIC PHENOMENA IN A SUCTION SYSTEM FOR INCREASING THE EFFICIENCY OF THE WORK OF PISTON COMPRESSORS <i>Rutkovskiy Yu. A., Rutkovskiy A.Yu.</i> .....	89
METHODS, SCHEMES AND MEASURES OF DEPRIVATION OF GROUNDWATER LEVEL IN MODERN CONSTRUCTION <i>Kventsel A.L., Remen V.I.</i> .....	96
SCORE OF SYMMETRY PULL AND SPEED CHARACTERISTICS OF HYDRAULIC SERVO DRIVE POWER WITH ONE-PISTON CYLINDERS OF DIFFERENT TYPES <i>Sklyarevskiy A.N.</i> .....	100
IMPROVEMENT OF DYNAMIC CHARACTERISTICS OF SERVO-VALVES UNDER CONDITIONS OF CONTROLLING SIGNAL LIMITATION <i>Tkachev R.Yu., Boyko N.Z., Tumin A.N.</i> .....	105
DEVELOPMENT OF A CONTROL SYSTEM OF HYDRAULIC JAW CRUSHER <i>Tumin A.N., Tkachev R.Yu., Levchenko E.P.</i> .....	110
IMPROVEMENT OF DRIVES ON AEROSTATIC BEARINGS FOR INCREASING THE QUALITY OF TECHNOLOGICAL PROCESSES <i>Ututov N.L.</i> .....	115
METHOD OF HYDRODYNAMIC CLEANING OF LIQUID AND DEVICE FOR ITS IMPLEMENTATION <i>Cheban V.G.</i> .....	119
ESTIMATION MAGNETIC CHARACTERISTICS AT LOCAL MAGNETIZATION BY ELECTROMAGNETIC ACCEPTANCE <i>Shatova N.A.</i> .....	124
TO CALCULATION OF THE MAGNETIC SENSOR OF MOVEMENT OF THE SIMPLE STRUCTURE <i>Yakovenko V.V., Tarasenko O.V., Kreselyuk Y.V., Ivzhenko A.A.</i> .....	127
HYDRODYNAMIC CALCULATION OF ELECTROLYTE CURRENT DURING ELECTROCHEMICAL TREATMENT <i>Yamkovaya M.A., Boyko N.Z., Shadrin S.V.</i> .....	134
END-TO-END DESIGNING IN MECHANICAL ENGINEERING <i>Yasunik S.N., Volkov I.V.</i> .....	140
THE STUDY OF ELECTROMAGNETIC RADIATION IN THE AREAS HUMAN <i>Korovin M. A.</i> .....	144
DEVELOPMENT OF DISTRICT HEATING SYSTEM BASED ON HEAT PUMPS <i>Muslina D.B., Tsaryk Y.V., Vasilevski O.V., Chaikouski M. S.</i> .....	149

---

ROLE AND PLACE OF SMALL BUSINESS AND PRIVATE ENTREPRENEURSHIP IN INNOVATIVE ECONOMY <i>Kalyuzhnyy V. V.</i> .....	153
RATIONALE FOR THE CURRENCY OF THE PROBLEM FOR THE BEGINNING OF ITS RESEARCH <i>Bugaevskaya Ju. Ju.</i> .....	159
VISUALIZATION OF THE PROCESS OF SIMULATION OF HYDRODYNAMIC AND HEAT MASS TRANSFER PROCESSES IN THE LADLE-FURNACE UNIT <i>Bilousov V., Bodryaga V., Bondarenko V., Nedopekin F., Suhareva S.</i> .....	166
APPLICATION OF AQUATRONICS METHODOLOGY FOR INCREASING THE EFFICIENCY OF WATER SUPPLY AND WATER TREATMENT SYSTEMS <i>Nikolenko Ilya, Saliev Enver</i> .....	171
CHARACTERISTICS OF THE HYDRAULIC ACTUATOR AT THE THROTTLE WAY OF REGULATION WITH CONSECUTIVE INSTALLATION OF THE THROTTLE <i>Bugayenko V.V., Bryukhovetskaya E.V.</i> .....	181
REDUCTION ENERGY LOSSES DURING OPERATION OF PRESSES WITH PUMP-AND-ACCUMULATOR HYDRAULIC DRIVE <i>Goydo M.E., Bodrov V.V., Bagautdinov R.M.</i> .....	189
ON REDUCING LOSSES OF PUMPED OVER SUBSTANCE IN VORTEX CHAMBER CHARGERS <i>Syomin D.A., Levashov A.N., Levashov Y.N., Pogonina N.A.</i> .....	196
ANALYSIS TOOLS AND METHODS FOR ENTERPRISE STAFF MANAGEMENT <i>Varnavskaya D.S.</i> .....	200
HISTORY OF THE CITY OF STAKHANOV FROM THE ORIGIN TO FORMATION <i>Grechishkina E.S.</i> .....	204
INFLUENCE OF THE CONSTRUCTION POWER SUPPLY ON ITS CROSSING CAPACITY OF THE VORTEX VALVE <i>Syomin D. A., Levashov Y. N., Levashov A. N. Perevalov V. V., Perevalova N. I.</i> .....	209
COMPARATIVE EVALUATION OF PONDEROMOTIVE FORCES DEVELOPED BY MODERN DESIGNS OF SUSPENDED IRON SEPARATORS WITH PERMANENT MAGNETS ON Nd-Fe-B AND Fe-Ba BASIS <i>Parsentiev O.S., Yakovenko V.V.</i> .....	214



УДК 548.523:532.64

## ИССЛЕДОВАНИЕ ФАЗОВЫХ ПЕРЕХОДОВ «ПЛАВЛЕНИЕ – КРИСТАЛЛИЗАЦИЯ» В РАСПЛАВАХ

Недопекин Ф.В., Дмитрук М.Ю.

### PHASE TRANSITION “FUSION – CRYSTALLIZATION” IN MELT RESEARCH

Nedopekin F.V., Dmitruk M.U.

*Образование твёрдой фазы из расплава рассматривается как процесс, протекающий со скоростью распространения звука. Принципиальное отличие предложенной модели заключается в следующем: кристаллизация осуществляется при постоянном переохлаждении для каждого вещества. Приводятся формулы, полученные теоретическим путём для расчёта основных параметров кристаллизации и примеры конкретных расчётов для конкретных веществ.*

**Ключевые слова:** взрывная кристаллизация; расплав; фазовый переход; термографирование.

**Введение.** Современные требования к литейным материалам и изделиям, особенно к полупроводниковым материалам предполагают обязательную термообработку материала. Непосредственно процесс легирования материалов производят в твердой фазе на границе  $T_{пл}$ . Данный параметр определяют приблизительно по величине предкристаллизационных переохлаждений расплавов. Считается, что эта величина зависит от условий кристаллизации, имеет вероятностный характер и сильно различается у различных материалов [1].

Экспериментально установлено, что известный разброс регистрируемых значений предкристаллизационных переохлаждений определяется чисто техническими причинами. Даже если предположить, что термометра в образце строго неподвижна, точка, в которой начинается кристаллизация в расплаве, никогда не будет совпадать с точкой расположения термометра. Именно поэтому экспериментально регистрируемый разброс величины при обычных методах термографирования (при линейном нагреве и охлаждении) имеет статистический характер. Это обусловлено тем, что в расплаве при охлаждении всегда очень высокие температурные градиенты, особенно на фронте кристаллизации. Фактическая температура на фронте кристаллизации и

температура, регистрируемая термометром, всегда значительно отличаются, отсюда и разброс регистрируемых температур переохлаждения, т.е. начало кристаллизации.

Существующие модели кристаллизации расплавов строятся из предположения, что скорость кристаллизации функционально зависит от предкристаллизационного переохлаждения расплава. В данной работе предполагается, что все фазовые переходы происходят аналогично – при строго определенной температуре.

**Постановка задачи.** Исключить влияние температурных градиентов в расплаве на показания термометра можно только в том случае, если в момент регистрации температуры в расплаве будут отсутствовать температурные градиенты. А это возможно только в том случае, когда тепловые потоки в образце изменяют знак - с нагревания на охлаждение. Только в этом случае во всем объёме образца будет одинаковая температура, т.е. образец некоторое время будет находиться в тепловом равновесии с окружающей средой, т.е. при одинаковой температуре.

Для решения этой задачи был разработан специальный метод – Баллистический Термический Анализ (БТА). Физическая сущность этого метода заключается в том, что максимальные и минимальные температуры нагревания и охлаждения образца достигаются по инерции при отключении или включении нагревателя в точке фазового перехода. В обычных условиях, при отсутствии в образце структурно-фазовых переходов (в твёрдой или жидкой фазах) термограммы нагревания и охлаждения имеют правильную синусоиду при нагревании и охлаждении в небольшом температурном интервале. Процесс термографирования методом БТА – многоциклический. В каждом цикле максимальная температура нагревания или минимальная при охлаждении повышается или понижается на

несколько градусов, а в критических точках даже на доли градуса. [2- 5]

Для исследования процессов плавления-кристаллизации разработана экспериментальная установка, представляющая собой специальную печь. В качестве нагревательных элементов применена нихромовая нить. Термопара располагается в тигле с исследуемым материалом, который на кронштейне погружается в печь. Для регулировки температуры печи используется лабораторный автотрансформатор. Его применение позволяет точнее отработать термопрофиль исследуемого вещества.

В качестве регистратора температурных изменений в расплавах изготовлен специальный контроллер. Применение микроконтроллера ADS1220 в основе устройства обработки сигналов дает следующие преимущества по сравнению с аналогичными устройствами:

1. Реализация «холодного» спая термопары силами микроконтроллера.

2. Наличие встроенного фильтра для подавления сетевых помех.

Для записи и обработки результатов был разработан программный продукт в среде программирования C++. Программа позволяет менять частоту опроса датчика температуры, т.к. длительность исследуемого процесса для различных материалов отличается. По полученным данным в режиме реального времени строится график зависимости температуры от времени. Для перевода ЭДС термопары из милливольт в градусы Цельсия программа использует встроенную таблицу соответствий. Промежуточные значения интерполируются методом Лагранжа:

$$1. \quad L(x) = \sum_{i=0}^n y_i l_i(x), \quad (1)$$

где базисные полиномы определяются по формуле:

$$2. \quad l_i(x) = \prod_{j=0, j \neq i}^n \frac{x - x_j}{x_i - x_j}, \quad (2)$$

**Расчет параметров кристаллизации.** Для расчёта величины длительности единичного акта кристаллизации, который протекает, пока расплав на границе раздела фаз не повысится от  $T_{кр}$  до  $T_{пл}$ , используется формула:

$$3. \quad \tau_{\partial\partial} = 1,27\alpha V_{\partial\partial}^{-2}, \quad (3)$$

где  $\alpha$  – коэффициент температуропроводности.

При повышении температуры на границе раздела фаз до  $T_{пл}$  образование твёрдой фазы прекращается и происходит охлаждение границы раздела фаз до  $T_{кр}$ , после чего происходит

следующий цикл кристаллизации. За время кристаллизации происходит образование твёрдой фазы, толщина которой  $\chi_{кр}$  может быть рассчитана по формуле:

$$4. \quad \chi_{кр} = 1,27\alpha V_{кр}^{-1}. \quad (4)$$

У различных веществ эта величина колеблется также в широких пределах. Длительность охлаждения закристаллизовавшегося слоя от  $T_{пл}$  до  $T_{кр}$  может быть рассчитана по формуле:

$$5. \quad \tau_{ох} = 5,06 \frac{\alpha L^2}{V_{кр}^2 c^2 (\Delta T_0 - \Delta T_{кр})^2} \ddot{x}, \quad (5)$$

где  $\Delta T_0$  – разница между температурами плавления и охлаждения;  $\ddot{x}$  – толщина закристаллизовавшегося слоя за один акт кристаллизации.

Зная параметры кристаллизации в единичном акте кристаллизации, можно рассчитать и среднюю скорость затвердевания расплава из соотношения:

$$6. \quad V_p = \frac{V}{4L^2} (\Delta T_0 - \Delta T_{кр})^2 = K (\Delta T_0 - \Delta T_{кр})^2. \quad (6)$$

Согласно выполненным расчётам длительность единичного акта кристаллизации составляет  $10^{-8}$  –  $10^{-12}$  с. Длительность охлаждения расплава между единичными актами кристаллизации составляет  $10^{-4}$  –  $10^{-5}$  с. [3-5] Для эксперимента выбрано несколько веществ с различными теплофизическими свойствами. Применялись материалы с температурой плавления лежащей в рабочем диапазоне термопары типа К. Далее приведены физические характеристики исследуемых веществ, термограммы а также результаты экспериментов.

На рис. 1 представлена взрывная кристаллизация олова со следующими параметрами:  $\Delta T_{кр} = 8,37^\circ\text{C}$ ,  $\tau_{кр} = 0,47$  с.

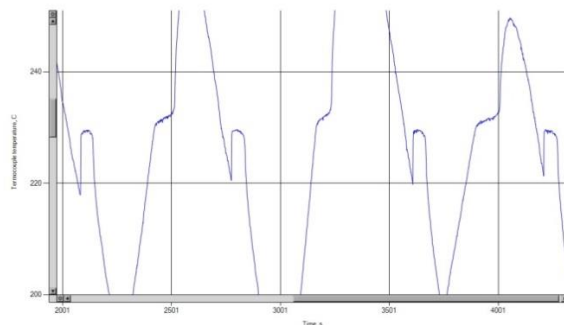


Рис. 1. Термограмма взрывной кристаллизации олова

В результате эксперимента для висмута были получены следующие параметры взрывной

кристаллизации:  $\Delta T_{кр} = 29,4^{\circ}\text{C}$ ,  $\tau_{кр} = 0,11$  с. Соответствующая термограмма представлена на рис. 2.

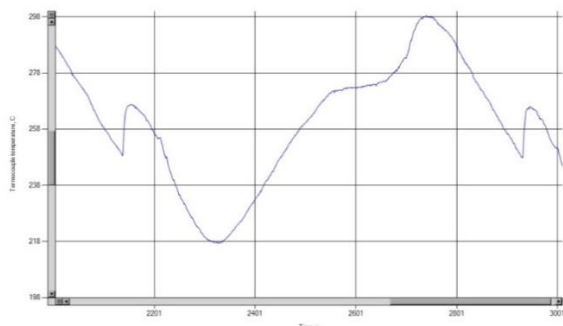


Рис. 2. Термограмма взрывной кристаллизации висмута

**Выводы 1.** Установлено, что кристаллизация осуществляется при постоянном переохлаждении для каждого вещества, которое может быть рассчитано.

2. Приведенные формулы, получены теоретическим путём, для расчёта основных параметров кристаллизации.

3. Следуя предложенной новой методике термографирования можно установить оптимальный температурный интервал вблизи температуры плавления для легирования, что особенно важно при обработке полупроводниковых материалов.

### Литература

1. Александров Л.Н. Новые экзо- и эндотермические эффекты в расплаве теллура, обнаруженные методом БТА. – Письма в ЖТФ, 1982. – Т.8., В.6. – С. 368- 371.
2. Александров В.Д. Новый метод термического анализа для исследования кристаллизации селена. Неорганические материалы / В.Д. Александров, А.Ю. Кудзин, В.И. Петренко. 1990. – Т.26, №10. – С. 2091-2096.
3. Недопекин Ф.В. Теоретическая модель и экспериментальные исследования кинетики взрывной кристаллизации расплавов / Ф.В. Недопекин, А.А. Петренко – Вестник Донецкого Национального университета: Сер. А, Вып. 2, 2010. – С. 141-147.
4. Свойства элементов: справочник под редакцией М.Е. Дриза – М: Metallurgija, 1985. – С. 672.
5. Таблицы физических величин: справочник под ред. И.К. Кикоина – М.: Атомиздат, 1976. – С. 1006.

### References

1. Aleksandrov L.N. Novye jekzo- i jendotermicheskie jef-fekty v rasplave tellura, obnaruzhennye metodom BTA. – Pis'ma v ZhTF, 1982. – Т.8., V.6. – S. 368- 371.

2. Aleksandrov V.D. Novyj metod termicheskogo analiza dlja issledovanija kristallizacii selena. Neorganicheskie materialy / V.D. Aleksandrov, A.Ju. Kudzin, V.I. Pet-renko. 1990. – Т.26, №10. – S. 2091-2096.

3. Nedopekin F.V. Teoreticheskaja model' i jeksperimen-tal'nye issledovanija kinetiki vzryvnoj kristallizacii rasplavov / F.V. Nedopekin, A.A. Petrenko – Vestnik Doneckogo Nacional'nogo universiteta: Ser. A, Vyp. 2, 2010. – S. 141-147.

4. Svojstva jelementov: spravochnik pod redakciej M.E. Driza – M: Metallurgija, 1985. – S. 672.

5. Tablicy fizicheskikh velichin: spravochnik pod red. I.K. Kikoina – M.: Atomizdat, 1976. – S. 1006.

**Nedopekin F.V., Dmitruk M.U.**

### PHASE TRANSITION “FUSION CRYSTALLIZATION” IN MELT RESEARCH

*Melt transition to the solide phase is studied as a process takes place with the speed of sound. The basic peculiarity of the suggested model is that crystallization takes place with constant supercooling for each substance. Theoretically derived formulas for calculating the basic crystallization parameters and the examples of specific calculations for particular substances are provided.*

**Key words:** crystallization, precrystallization supercooling, crystallization speed and time.

**Недопекин Федор Викторович**, д.т.н. профессор кафедры ФНПМиЭ ГОУ ВПО ДНР «Донецкий национальный университет»

**Nedopekin Fedor Viktorovich**, Doctor of Sciences, a professor of the Chair of physics non equilibrium processes, metrology and ecology, State Educational Establishment of Higher Professional Education «Donetsk National University».

**E-mail:** f.nedopekin@gmail.com

**Дмитрук Михаил Юрьевич**, аспирант кафедры ФНПМиЭ ГОУ ВПО ДНР «Донецкий национальный университет»

**Dmitruk Michael Yurievich**, postgraduate student of the Chair of physics non equilibrium processes, metrology and ulecology, State Educational Establishment of Higher Professional Education «Donetsk National University».

**Рецензент: Милославский Александр Григорьевич**, д.т.н., профессор, профессор кафедры теоретической физики и нанотехнологий физико-технического факультета ГОУ ВПО "Донецкий национальный университет".

Статья подана 30.11.2017

УДК 532.5, 614.844, 621.227

## УЛЬТРАСТРУИ КАК ИНСТРУМЕНТ ТУШЕНИЯ ПОЖАРОВ ГАЗОВЫХ ФАКЕЛОВ

Недопекин Ф.В., Шерстюк Ю.В.

## ULTRAJET AS A TOOL FOR EXTINGUISHING OF THE GAS TORCH

Nedopyokin F.V., Sherstiuk Yu.V.

*В статье описан способ применения импульсных высокоскоростных струй жидкости в качестве инструмента для тушения пожаров газовых факелов. Показаны преимущества и недостатки данного способа, дальнейшие перспективы развития. Приведены схемы устройств, применяемых для получения ультраструй. Даны уравнения для расчета внутренней баллистики, а также конечно-разностная аппроксимация уравнений движения по методу Родинова, адаптированному для расчета гидроимпульсных установок. Получена зависимость коэффициента компактности гидропушки от ее конструктивных параметров. Данный критерий характеризует дальнобойность гидроимпульсной установки и является функционалом для постановки задачи оптимального управления выстрелом гидропушки.*

**Ключевые слова:** импульсные струи жидкости высокой скорости, импульсный водомет, гидропушка, внутренняя баллистика гидроимпульсной установки.

**Введение.** Технологические процессы газоперерабатывающих и химических производств как правило особо пожароопасны, поскольку протекают при высоких температурах жидкостей и газов и под высоким, а часто и сверхвысоким давлением. Одним из наиболее эффективных ингибиторов горения углеводородов являются пары воды – наличие 29% паров воды предотвращает воспламенение метан-воздушной смеси любого состава. Поэтому наибольшее распространение получил способ тушения газовых факелов при помощи тонкораспыленной воды. Отмечается, что импульсная подача огнетушащего вещества в центр пожара значительно повышает эффективность тушения [1]. Основными действующими факторами при тушении факела тонкораспыленной водой является охлаждение горящего материала и образование локализирующего очага горения облака пара. Поскольку устройства импульсной подачи высокоскоростных струй жидкости обладают большой мощностью, простотой конструкции и достаточной надежностью установки, отмечается возможность их использования для целей пожаротушения. Предварительные исследования,

выполненные на модельных установках, дали обнадеживающие результаты и показали перспективность этого направления [2].

Для получения импульсных струй жидкости часто используют гидропушку (ГП) и импульсный водомет (ИВ) с поршневым или пороховым приводом, а также электроимпульсный водомет (ЭИВ), в котором используется энергия подводного электрического разряда. В ГП и ИВ реализованы разные физические принципы, поэтому процесс выстрела и параметры струи ГП и ИВ сильно отличаются. В ИВ высокоскоростная импульсная струя формируется при выдавливании воды из отверстия малого диаметра. Такой способ позволяет получить струю, дальнобойностью 1,5-2 м [3]. Давление внутри ИВ не может превышать давления гидронапора струи, поэтому надежность установки сильно зависит от скорости струи. В связи с прочностными ограничениями, ИВ не позволяет получать струю скоростью выше 1500 м/с.

В отличие от ИВ, в ГП ускорение жидкости происходит при втекании в сужающееся сопло. Давление гидронапора струи ГП может в несколько раз превышать давление внутри установки. Расчеты показали возможность получения при максимальном давлении в ГП не больше 1 ГПа (это вполне достижимо при использовании современных материалов и технологий) струй, способных оказать на преграду давление до 4 ГПа [3].

Метод тушения газового факела импульсной струей жидкости высокой скорости основан на отрыве горящего факела от устья скважины. В результате воздействия струи на некоторое время прекращается подача горючей смеси в зону горения, нарушается энергетический баланс реакции горения и горение прекращается. Механизм тушения факела при срыве пламени заключается в том, что струя инертной среды (в данном случае это облако мелкодисперсных брызг воды) имея достаточную скорость, отсекает подачу горючей смеси из устья скважины в зону горения.

Основной трудностью при тушении газовых и нефтяных фонтанов с большим дебитом в условиях интенсивного теплоподвода, является обеспечение дальнотойности струи, при которой с безопасного расстояния можно сорвать пламя и снизить температуру в зоне горения ниже точки воспламенения. Экспериментальные исследования показали, что скорость струи для срыва факела должна быть не меньше 80-100 м/с [2]. Кроме того, поперечное сечение струи для срыва факела должно быть не меньше поперечного сечения факела в зоне горения. Размеры факела зависят от диаметра скважины, расхода газа и параметров газа: вязкости, теплопроводности и диффузии.

Поэтому достаточно актуальной является задача о повышении дальнотойности гидроимпульсной установки путем изменения ее конструктивных параметров.

**Целью работы** является постановка задачи оптимизации параметров гидропушки для тушения пожаров газовых факелов.

Импульсные движения жидкости с подвижными границами носят ярко выраженный волновой характер, который проявляется при взаимодействии волн с границами раздела сред и между собой. С другой стороны, кратковременность процессов позволяет пренебречь вязкостью и теплопроводностью жидкости, процесс считать адиабатическим, а жидкость – идеальной. Как правило, математическая модель гидропушки строится в рамках модели идеальной и сжимаемой жидкости.

Для гидропушки характерно движение жидкости в канале переменного сечения с малым изменением радиуса кривизны поверхности. В этом случае допустимо квазиодномерное приближение, при котором параметры течения усредняются по поперечному сечению, а радиальным течением пренебрегают в сравнении с осевым.

В принятой постановке квазиодномерное изэнтропическое движение жидкости в поршневой ГП описывается следующими уравнениями в дивергентной форме

$$\frac{\partial \rho F}{\partial t} + \frac{\partial \rho u F}{\partial x} = 0,$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{u^2}{2} + \frac{Bn}{\rho_0(n-1)} \left( \frac{\rho}{\rho_0} \right)^{n-1} \right) = 0.$$

с начальными и граничными условиями

$$u(0, x) = u_{p0}, \quad \rho(0, x) = \rho_0; \quad -L \leq x \leq 0.$$

Движение поршня описывается уравнениями с начальными условиями

$$m_p \frac{du_p}{dt} = -F_c B \left[ \left( \frac{\rho_p}{\rho_0} \right)^n - 1 \right], \quad \frac{dx_p}{dt} = u_p;$$

$$u_p(0) = u_{p0}, \quad x_p(0) = 0.$$

Здесь  $\rho, u$  – плотность и скорость,  $t, x$  – время и координата,  $m_p, x_p, u_p$  – масса, координата и скорость поршня,  $u_{p0}$  – начальная скорость поршня,  $F_c$  – площадь поперечного сечения ствола,  $x_F$  – координата свободной поверхности,  $L$  – длина водяного заряда,  $\rho_0 = 10^3$  кг/м<sup>3</sup> – плотность воды при обычных условиях,  $B = 304,5$  МПа,  $n = 7,15$  – постоянные в уравнении воды в форме Тэта.

В такой постановке уравнения процесса не имеют аналитического решения, и параметры течения могут быть определены только численно. При выборе численного метода для решения таких задач, предпочтение отдается монотонным, однородным консервативным схемам высокого порядка аппроксимации. Для расчета гидроимпульсных установок развит метод Родионова, который удовлетворяет требованиям монотонности, однородности, консервативности и имеет второй порядок аппроксимации по времени и координате. Повышение порядка аппроксимации по координате достигается за счет замены кусочно-постоянной реконструкции параметров кусочно-линейной, а по времени – за счет выполнения двухшагового пересчета типа предиктор-корректор. Сохранение монотонности обеспечивается применением принципа минимума производной при выборе приращений функций в ячейке [4]. Конечно-разностная аппроксимация уравнений движения в ГП по методу Родионова имеет вид

$$\rho_{i+\frac{1}{2}}^{m+1} = \left\{ \rho_{i+\frac{1}{2}}^m \Delta x_{i+\frac{1}{2}}^m - \Delta t [R(U-W)]_i^{i+1} - \left( \frac{\rho u}{F} \right)_{i+\frac{1}{2}}^m \frac{F_i^{i+1} \Delta t \Delta x_{i+\frac{1}{2}}^{m+\frac{1}{2}}}{\Delta x_{i+\frac{1}{2}}^m} \right\} / \Delta x_{i+\frac{1}{2}}^{m+1};$$

$$(\rho u)_{i+\frac{1}{2}}^{m+1} = \left\{ (\rho u)_{i+\frac{1}{2}}^m \Delta x_{i+\frac{1}{2}}^m - \Delta t [(RU(U-W)+P)]_i^{i+1} - \left( \frac{\rho u^2}{F} \right)_{i+\frac{1}{2}}^m \frac{F_i^{i+1} \Delta t \Delta x_{i+\frac{1}{2}}^{m+\frac{1}{2}}}{\Delta x_{i+\frac{1}{2}}^m} \right\} / \Delta x_{i+\frac{1}{2}}^{m+1}.$$

Здесь  $\Delta t$  – шаг по времени,  $\Delta x_{i+\frac{1}{2}}^m = (x_{i+1} - x_i)^m$  – шаг сетки по координате на  $m$ -том шаге по времени,  $W_i = (x_i^{m+1} - x_i^m) / \Delta t$  – скорость движения  $i$ -го узла сетки,  $F_i^{i+1} = F_{i+1} - F_i$ .

Большими буквами  $R, U, P$  – обозначены параметры, которые рассчитываются на границах ячеек при решении обобщенной задачи Римана, или, на границах расчетной области из граничных условий. Параметры с целыми индексами  $i$  определяются в точках с координатами  $x_i$ , а параметры с полуцелыми индексами  $i + 1/2$  – в точках с координатами  $(x_i + x_{i+1})/2$ . Расчеты проводились на подвижных регулярных сетках, которые опирались на передний и задний фронт движущегося водяного заряда.

На рис. 1 для сравнения приведены результаты эксперимента и расчета параметров пороховой ГП, которые наглядно демонстрируют адекватность разработанных моделей и эффективность численных методов. Давление пороховых газов (датчик  $D_1$ ) и воды (датчик  $D_4$ ) внутри пороховой ГП измерялось на полигоне системой для измерения параметров внутренней баллистики ствольных орудий, а рассчитывалось численно методом Родинова.

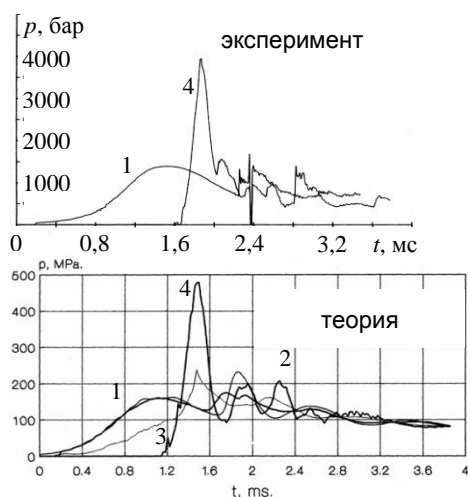


Рис. 1. Давление внутри пороховой гидропушки

Расчет внутренней баллистики гидропушки в рамках принятой модели достаточно трудоемок. Часто предварительные расчеты параметров гидропушки проводят без учета сжимаемости жидкости. Как показано в [3] несмотря на то, что количественные характеристики гидропушки в рамках модели несжимаемой жидкости значительно выше, чем для сжимаемой, расчет внутренней баллистики гидропушки в рамках модели несжимаемой жидкости дает правильный качественный ход зависимостей давления и скорости от координаты и от времени.

Рассматривая течение жидкости в рамках модели идеальной несжимаемой жидкости, примем следующие допущения: течение квазиодномерное, изоэнтропическое; жидкость идеальная, несжимаемая; влияние воздуха в сопле и деформации корпуса не учитываются.

Пусть в начальный момент времени водяной заряд длиной  $L$ , который движется в цилиндрическом стволе ГП вместе с поршнем со скоростью  $U_0$ , достигает входа в сужающееся сопло и начинает втекать в него. Входное и выходное сечения и длину сопла обозначим  $F_c, F_s$  и  $L_s$ , начало координат совместим с начальным положением поршня. Разобьем выстрел ГП на две стадии: втекание и истечение. Истечение начинается тогда, когда передний фронт воды достигает среза сопла.

Запишем балансы массы и энергии на стадии втекания

$$m_e = -X_R \rho F_c + \rho \int_0^{X_F} F(X) dX, \quad (1)$$

$$\frac{(m_e + m_p) U_0^2}{2} = \frac{[m_p - X_R \rho F_c] U_R^2}{2} + \int_0^{X_F} \frac{\rho U(X)^2 F(X) dX}{2}. \quad (2)$$

Здесь  $X_R$  и  $X_F$  – координата заднего и переднего фронта жидкости;  $m_p$  и  $m_e$  – масса поршня и воды;  $F$  – площадь поперечного сечения сопла;  $U$  – скорость жидкости.

Выразим  $X_R$  из уравнения (1):

$$X_R = \int_0^{X_F} \frac{F(X) dX}{F_c} - \frac{m_e}{\rho F_c} \quad (3)$$

Используя полученное выражение и уравнение неразрывности  $U(X)F(X) = U_R F_c$ , выразим из уравнения (2)  $U_R$ :

$$U_R = \sqrt{\frac{(m_e + m_p) U_0^2}{m_p + m_e - \rho F_c \int_0^{X_F} \left( \frac{F(X)}{F_c} - \frac{F_c}{F(X)} \right) dX}} \quad (4)$$

Перейдем к безразмерным переменным, используя масштабы: длину  $L$ , начальную скорость  $U_0$ , время  $L/U_0$ , площадь  $F_c$ , массу  $m_a = \rho L F_c$ . Запишем уравнения (3) – (4) в безразмерном виде:

$$x_R = \int_0^{x_F} f(x) dx - 1, \quad (5)$$

$$u_R = \sqrt{\frac{k_m}{k_m - \int_0^{x_F} f(x) dx + \int_0^{x_F} \frac{dx}{f(x)}}}, \quad (6)$$

где  $k_m = (m_p + m_e)/m_e$  – безразмерный коэффициент.

Безразмерные переменные обозначены малыми одноименными буквами, что и размерные.

При истечении воды из сопла масса и энергия жидкости в ГП уменьшаются. Пусть истечение струи началось в момент времени  $T_0$ . К моменту времени  $T > T_0$  из сопла вытечет масса  $\Delta m$  и будет унесена энергия  $\Delta E$ :

$$\Delta m = \rho F_s \int_{T_0}^T U_s(t') dt', \quad \Delta E = \frac{1}{2} \rho F_s \int_{T_0}^T U_s^3(t') dt'.$$

Здесь индексом “s” отмечены параметры на срезе сопла. Рассмотрим случай, когда объем жидкости больше объема сопла и на начало истечения поршень находится в стволе ( $X_R(T_0) < 0$ ).

Запишем баланс энергии

$$\frac{(m_6 + m_p) U_0^2}{2} = [m_p - X_R \rho F_c] \frac{U_R^2}{2} + \int_0^{x_F} \frac{\rho F(X) U(X)^2}{2} dX + \frac{\rho F_s}{2} \int_{T_0}^T U_s^3(t') dt'$$

Преобразуем уравнение энергии к безразмерному виду, учитывая выражение (6) и уравнение неразрывности

$$F(X)U(X) = F_s U_s = F_c U_R:$$

$$k_m = \left( k_p - x_R + \int_0^{x_s} \frac{dx}{f(x)} \right) u_R^2 + k_F^2 \int_{t_0}^t u_R^3(t') dt', \quad (7)$$

где  $k_F = F_c / F_s$  – отношение площадей входного и выходного сечений сопла,  $k_p = m_p / m_a$  – отношение массы поршня к массе воды.

После дифференцирования уравнения (7) по времени и преобразований получим:

$$(D_1 - x_R) \dot{u}_R + D_2 u_R^2 = 0, \quad (8)$$

$$\text{где } D_1 = k_p + \int_0^{x_s} \frac{dx}{f(x)}, \quad D_2 = \frac{(k_F^2 - 1)}{2}.$$

Исключив из уравнения (8) производную по времени, и проинтегрировав с учетом начальных условий на момент истечения, найдем зависимость скорости заднего фронта жидкости (поршня) от его координаты

$$u_R = u_{R0} \left( \frac{D_1 - x_R}{D_1 - x_{R0}} \right)^{D_2}, \quad (9)$$

где  $u_{R0}$ ,  $x_{R0}$  – скорость и координата заднего фронта на начало истечения, которые определяются по формулам (5) – (6).

Проинтегрировав уравнение (9), получим зависимость  $x_R$  от времени

$$x_R = D_1 - \frac{D_1 - x_{R0}}{\left[ 1 + \frac{(D_2 - 1) u_{R0}^3}{k_m} (t - t_0) \right]^{\frac{1}{D_2 - 1}}}. \quad (10)$$

Продифференцировав полученное уравнение по времени, получим явную зависимость  $u_R$  от времени:

$$u_R = u_{R0} \left[ 1 + \frac{(D_2 - 1) u_{R0}^3}{k_m} (t - t_0) \right]^{\frac{-D_2}{D_2 - 1}}. \quad (11)$$

Используя уравнение неразрывности, получим зависимость скорости истечения от времени:

$$u_s(t) = k_F u_R = k_F u_{R0} \left[ 1 + \frac{(D_2 - 1) u_{R0}^3}{k_m} (t - t_0) \right]^{\frac{-D_2}{D_2 - 1}}. \quad (12)$$

Для оценки дальнобойности ГП в работе [5] был введен коэффициент компактности струи  $k_v$ , который равен обратной величине безразмерного модуля градиента скорости струи, усредненного по длине ее высокоскоростного участка, скорость жидкости в котором лежит в интервале  $u \in [u_{\max}, u_{\min}]$ :

$$k_v = \left( \frac{u_{\max} - u_{\min}}{\Delta L_{\max}} \frac{L_S}{u_{\max}} \right)^{-1}. \quad (13)$$

Здесь  $\Delta L_{\max}$  – длина высокоскоростного участка струи. При расчетах за масштабы выбраны максимальная скорость струи  $u_{\max}$  и длина сопла  $L_S$ . Чем больше коэффициент компактности  $k_v$ , тем меньше градиент скорости по длине струи, который является причиной развития кавитации и распада струи, тем компактнее струя и больше ее дальнобойность.

Учитывая, что  $u_{\max} = k_F u_{R0}$ ,  $u_{\min} = u_{\max} / \sqrt{2}$  получим

$$k_v = \frac{k_F k_m L}{(D_2 - 1) L_S \left( 1 - (\sqrt{2})^{-1} \right)} \left( 2^{\frac{D_2 + 1}{2D_2}} - 1 \right) * \left( \frac{k_m - \int_0^{x_F} f(x) dx + \int_0^{x_F} \frac{dx}{f(x)}}{k_m} \right). \quad (14)$$

Полученное выражение дает явную зависимость коэффициента компактности струи от конструктивных параметров гидропушки. Таким образом, можно сформулировать задачу оптимального управления: поиск параметров установки (массы поршня, массы водяного заряда, длины водяного заряда, длины сопла, радиуса сопла, радиуса ствола, профиля сопла), доставляющих максимум функционалу (14). Дальнейшее исследование будет направлено на решение поставленной задачи.

**Выводы.** Рассмотрена возможность применения импульсных струй жидкости высокой скорости для тушения газовых факелов и компактных пожаров. Для получения импульсных струй жидкости используются импульсный водомет и гидропушка. Построены физические и математические модели гидроимпульсных установок, разработаны надежные и эффективные численные методы их расчета. Поставлена задача оптимального управления выстрелом гидропушки для достижения большей компактности струи и, следовательно, ее дальности.

#### Л и т е р а т у р а

1. Захматов В.Д., Шкарабура Н.Г., Щербак Н.В. Новые методы и техника для тушения пожаров в небоскребах / Пожаровзрывобезопасность: науч.-технич. журнал. – Волгоград, 2002. № 1. С. 67 – 74.
2. Семко А.Н., Бескровная М.В., Украинский Ю.Д., Виноградов С.А., Грицына И.Н. Перспективы применения импульсных струй жидкости для тушения газовых факелов / Вестник НТУ «ХПИ». Серия: Математическое моделирование в технике и технологиях. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2013. 5 (979). С. 225-232.
3. Семко А.Н. Импульсные струи жидкости высокого давления / А. Н. Семко. – Донецк: Вебер (Донецкое отделение), 2007. – 149 с.
4. Семко А.Н. Применение метода Родionova для расчета квазиодномерных течений сжимаемой жидкости / А.Н. Семко, В.В. Решетняк // Тези науково-практичної конференції «Комп'ютерна гідромеханіка». – Київ: ІГМ НАН України, 2008. – С. 44–46.
5. Решетняк В.В., Семко А.Н. Влияние разных факторов на параметры поршневой гидропушки / Вестник НТУ «ХПИ». Серия: Математическое моделирование в технике и технологиях. Харьков: НТУ «ХПИ», 2010. 24. С. 120–134.

#### R e f e r e n c e s

1. Zahmatov V.D., Shkarabura N.G., Shherbak N.V. Novye metody i tehnika dlja tushenija pozharov v небоскребах / Pozharovzryvobezopasnost': nauch.-tehnic. zhurnal. – Vol-gograd, 2002. № 1. S. 67 – 74.
2. Semko A.N., Beskrovnaja M.V., Ukrainskij Ju.D., Vi-nogradov S.A., Gricyna I.N. Perspektivy primeneniya impul'snyh struj zhidkosti dlja tushenija gazovyh fakelov / Vestnik NTU «HPI». Serija: Matematicheskoe mode-lirovanie v tehnike i tehnologijah. – Har'kov: NTU «HPI», 2013. 5 (979). S. 225-232.

3. Semko A. N. Impul'snye strui zhidkosti vysokogo davlenija / A. N. Semko. – Doneck: Veber (Doneckoe otdelenie), 2007. – 149 s.

4. Semko A. N. Primenenie metoda Rodionova dlja rasche-ta kvaziodnomernyh techenij szhimaemoj zhidkosti / A. N. Semko, V. V. Reshetnjak // Tezi nauково-praktichnoї konfe-rencії «Komp'juterna gidromehanika». – Kіiv: IGM NAN Ukraїni, 2008. – S. 44–46.

5. Reshetnjak V.V., Semko A.N. Vlijanie raznyh faktorov na parametry porshnevoj gidropushki / Vestnik NTU «HPI». Serija: Matematicheskoe modelirovanie v tehnike i tehnologijah. Har'kov: NTU «HPI», 2010. 24. S. 120–134.

**Nedopyokin F.V., Sherstiuk Yu.V.**

#### ULTRAJET AS A TOOL FOR EXTINGUISHING OF THE GAS TORCH

*The article describes the application of hydro impulse jets of high speed as a tool for extinguishing of the gas torch, their advantages and disadvantages and further prospects of development. The schemes of water jet devices are given. The difference in the physics of the processes occurring during the ingress and expiration of water of the nozzle in water jet cannon and pulsed water jet are described. The equations to calculate the internal ballistics and the finite-difference approximation of the equations of motion method Rodionova, adapted to calculate the hydro pulse units, are given. The dependence of the compaction ratio of the water jet cannon from design parameters was obtained. This criterion characterizes the range capability of the hydroimpulsive device and it is a functional for the formulation of the problem optimal control of the water jet cannon shot.*

**Key words:** impulse liquid jets, pulse water cannon, water jet cannon, internal ballistics.

**Недопекин Федор Викторович**, д.т.н., профессор кафедры физики неравновесных процессов, метрологии и экологии им. И.Л. Повха ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк.

**Nedopyokin Fedor Viktorovich**, Doctor of Sciences, a professor of the Chair of physics non equilibrium processes, metrology and ecology, State Educational Establishment of Higher Professional Education «Donetsk National University».

**E-mail:** f.nedopekin@gmail.com

**Шерстюк Юлия Владимировна**, ассистент кафедры общей физики и дидактики физики ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк.

**Sherstiuk Yulia Vladimirovna**, postgraduate student of the Chair of general physics and didactic of physics, State Educational Establishment of Higher Professional Education «Donetsk National University».

**E-mail:** loktyushina.julia@yandex.ru

**Рецензент: Милославский Александр Григорьевич**, д.т.н., профессор, профессор кафедры теоретической физики и нанотехнологий физико-технического факультета ГОУ ВПО "Донецкий национальный университет".

Статья подана 30.11.2017



УДК 621.01: 62-883

## ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ПРИВОДА НА КОНИЧЕСКИХ АЭРОСТАТИЧЕСКИХ ОПОРАХ ПРИ МОДЕРНИЗАЦИИ ЕГО ОПОРНОЙ СИСТЕМЫ

Брешев В. Е.

## CHARACTERISTICS STUDYING OF CONICAL AEROSTATIC DRIVE THROUGH MODERNIZATION OF BEARING SYSTEM

Breshev V.E.

Рассмотрены виртуальная трехмерная модель прямого привода бесконтактного типа на конических аэростатических опорах различной геометрии и алгоритм исследования его динамических и статических характеристик средствами машиностроительных САПР. Представлены качественная и количественной оценки эффективности модернизации привода по результатам проведения вычислительных экспериментов в среде CAD/CAE. При этом исследовались изменения в распределении давления газовой смазки в зазоре, критические частоты вращения и отклики на дисбаланс ротора, траектории движения и амплитуды колебаний опор. Проанализировано влияние модернизации привода, заключающееся в усилении его правой опоры зенкованием питателей и установке лабиринтного уплотнения, на статические и динамические характеристики левой аэростатической опоры, а также на функциональность и динамическую устойчивость всего привода.

**Ключевые слова:** привод бесконтактный, дисбаланс, амплитуды колебаний, динамическая устойчивость.

**Введение.** Бесконтактные приводы на аэростатических опорах являются, как правило, высокоскоростными и прецизионными, но характеризуются относительно не высокой несущей способностью и устойчивостью к возникновению различного рода колебательных процессов [1, 2].

По этой причине их модернизация направлена на повышение динамической и статической устойчивостей опорных систем. Первая связана с сопротивлением опорной системы возникновению колебательных процессов в опорах и на роторе, резонансных явлений под внешним воздействием или при возникновении режима автоколебаний. Повышение же статической устойчивости призвано увеличить величину рабочих статических нагрузок на ротор привода. В результате модернизации достигается расширение диапазонов частот вращения и прикладываемых нагрузок, при которых привод сохраняет устойчивость и надежность функционирования [3, 4].

Целью работы является исследование характеристик привода в ходе проведения вычислительных экспериментов средствами машиностроительных САПР, систематизация полученных результатов для оценки эффективности предложенной модернизации опорной системы привода с точки зрения повышения динамической устойчивости, расширения диапазона частот вращения и рабочих нагрузок.

**Изложение основного материала.** Суть модернизации привода (пневмошпинделя) состоит в «усилении» его правой конической аэростатической опоры. Эффект «усиления» достигается зенковкой питателей на выходе в зазор, что увеличивает области более высокого давления смазки в зазоре, а также созданием на подвижной конусной поверхности аэростатической опоры лабиринтного уплотнения (ряда проточек), затрудняющих выход (дренаж) воздушной смазки из зазора правой опоры (рис. 1).

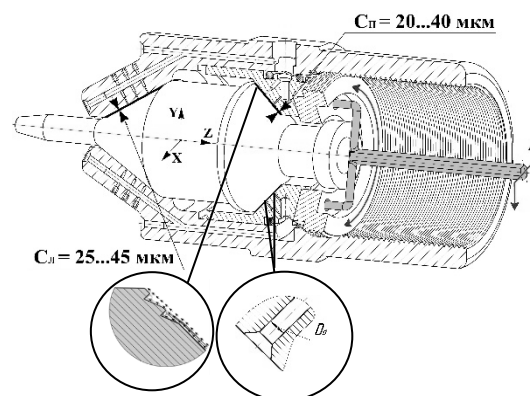


Рис. 1. Привод с усиленной правой опорой

В результате данного усиления был достигнут заметный рост подъёмной силы на правой конической аэростатической опоре как в радиальном, так и осевом направлениях. Это

подтверждается компьютерными расчётами равнодействующих сил от действия воздушной смазки и полей давлений воздушной смазки по конусной поверхности зазора до и после усиления, выполненными в САПР (рис. 2.).

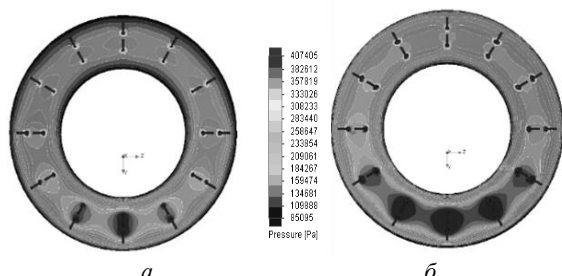


Рис. 2. Распределение давления воздушной смазки в зазоре правой опоры до (а) и после (б) усиления

Результаты компьютерного моделирования (CFD анализа) правой опоры показали, что после модернизации получено увеличение её осевой подъёмной силы на 47% и более (без лабиринтных уплотнений – на 35%). Радиальная грузоподъёмность опоры увеличилась на 4,7%. Но при этом повысился расход технологического воздуха в правой опоре на 26%, а при отсутствии прямооточных лабиринтных уплотнений – на 36%.

В реальных условиях у ротора неизбежно возникает некоторая несимметричность распределения масс относительно оси вращения. Она обусловлена неточностью изготовления деталей, отклонениями при сборке ротора с соплами Лавалья и всего привода, при установке инструмента (шлифовального круга). В результате неуровненности или дисбаланса возникают переменные по направлению силы инерции, дополнительно нагружающие опоры и вызывающие колебания в опорной системе привода [4, 5].

**Результаты исследований.** При компьютерном моделировании колебаний в роторы с идеальными геометрией и распределением масс (в 3D модели модернизированного и не модернизированного исполнения) однообразно вводилась неуровненная масса. В виртуальной среде роторы с неуровненной массой и без одинаково разгонялись. Затем программой снимались параметры колебательных процессов в опорах и на роторе. Расчёт в программе САЕ амплитуд колебаний левой опоры и концевой части ротора представлен на рис. 3. [4].

Результаты расчетов показали, что модернизация правой опоры, направленная на повышение ее жесткости и несущей способности, привела к существенному снижению отклика на вводимый дисбаланс и на левой опоре. Поэтому при разработке и модернизации конических аэростатических опор важно анализировать изменение динамических свойств всей опорной системы привода.

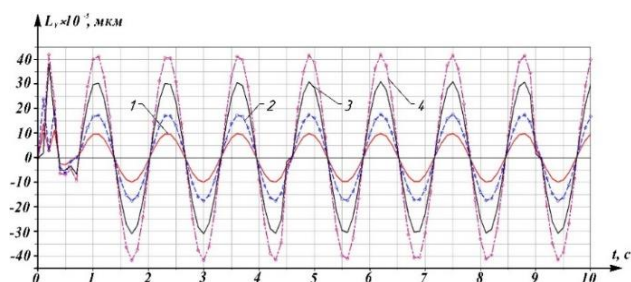


Рис. 3. Отклик на дисбаланс:  
1, 3 – колебания левой опоры и концевой части ротора с модернизированной правой опорой;  
2, 4 – колебания левой опоры и концевой части ротора без модернизации

Более выраженное снижение амплитуд свободных колебаний после модернизации (МО) в сравнении с исходной конструкцией (ИО) произошло в левой опоре (рис. 4).

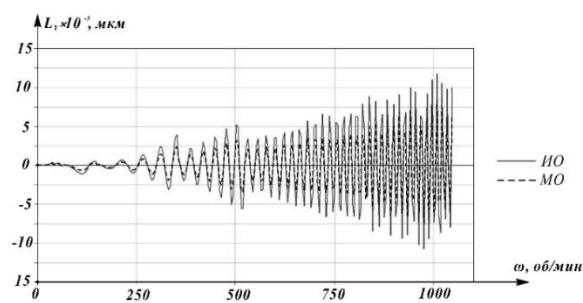


Рис. 4. Изменение амплитуды колебаний левой опоры

При этом амплитуды колебаний правой аэростатической опоры, замеренные по середине оси (высоты) конусной опорной поверхности, существенно не изменились после её модернизации (рис. 5).

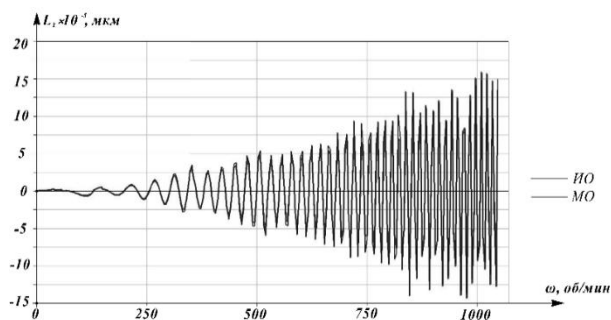


Рис. 5. Изменение амплитуды колебаний правой опоры ротора

На рис. 6. показаны траектории движения при колебаниях центра конуса левой конической аэростатической опоры пневмошпинделя после (а) и до (б) усиления его правой опоры [4].

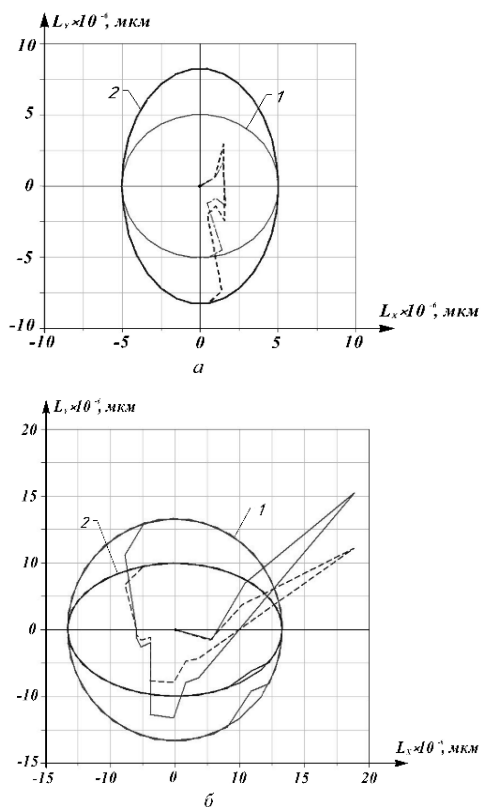


Рис. 6. Траектории центра левой опоры после (а) и до (б) усиления правой опоры привода: 1 – колебания левой опоры без нагрузки ( $\epsilon = 0$ ); 2 – колебания левой опоры под максимальной радиальной нагрузкой, вызывающей относительный эксцентриситет в опоре  $\epsilon = 0,8$

Уменьшение амплитуд колебаний свидетельствует о повышении динамической устойчивости левой опоры, концевой участка вала с закрепленным инструментом и всего привода в результате модернизации. Это связано с тем, что левая аэростатическая опора до усиления правой опоры работала на среднем зазоре  $C = 38$  мкм, а после усиления – на зазоре  $C = 27$  мкм (при неизменной сумме величин зазоров).

Таким образом, модернизация правой опоры приводит к перераспределению величин зазоров с воздушной смазкой и повышению жесткости и левой опоры. Это выражается в значительном (более чем в 2 раза) уменьшении амплитуды колебаний на холостом ходу, который является наиболее опасным для устойчивости аэростатических опор, и до 30% – под технологической нагрузкой. Именно левая коническая аэростатическая опора ротора, в основном, воспринимает радиальную рабочую нагрузку от инструмента при функционировании пневмошпинделя, поэтому данная модернизация существенно увеличивает несущую способность всего привода.

**Выводы.** Выполненные исследования характеристик привода на конических аэростатических опорах посредством проведения

вычислительных экспериментов в среде САПР показали:

- адекватность предложенной модели механической системы привода на конических аэростатических опорах и алгоритма исследования её динамических свойств (характеристик) средствами САПР;

- существенное влияние усиления правой аэростатической конической опоры на статические и динамические характеристики левой аэростатической опоры и всего привода, а потому необходимость рассматривать данный привод как единую механическую систему;

- эффективность предложенной модернизации привода посредством усиления его правой опоры, которая подтверждается анализом критических частот вращения, откликов на дисбаланс, траекторий и амплитуд колебаний опор ротора.

### Л и т е р а т у р а

1. КонстантINESКУ В.И. Газовая смазка / В.И. КонстантINESКУ; пер. с рум. Г. П. Махо ; под ред. М.В. Коровчинского. – М. : Машиностроение, 1968. – 709 с.
2. Пинегин С. В. Статические и динамические характеристики газостатических опор / Пинегин С.В., Табачников Ю.Б., Сипенков И. Е. – М. : Наука, 1982. – 265 с.
3. Космынин А.В. Шпиндели на газовых опорах – перспективный путь развития высокоскоростной обработки металлов / А.В. Космынин, М. Р. Петров // Современные проблемы науки и образования. – 2006. – №6. – С. 47–48.
4. Брешев В.Е. Приводы машин на регулируемых конических аэростатических опорах: Монография / В. Е. Брешев, А. В. Брешев. – Луганск: Изд-во Луганского государственного университета им. В. Даля, 2016. – 200 с.
5. Костюк А. Г. Динамика и прочность турбомашин: учебник для вузов / А. Г. Костюк. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Издательский дом МЭИ, 2007. – 476 с.

### References

1. Konstantinesku V.I. Gazovaja smazka / Konstantinesku V.I.; per. s rum. G.P. Maho; pod red. M. V. Korovchinskogo. – M.: Mashinostroenie, 1968. – 709 s.
2. Pinegin S.V. Sticheskie i dinamicheskie harakteristiki gazostaticeskikh opor / Pinegin S.V., Tabachnikov Ju.B., Sipenkov I.E. – M.: Nauka, 1982. – 265 s.
3. Kosmynin A. V. Shpindel' na gazovyh oporah – perspektivnyj put' razvitija vysokoskorostnoj obrabotki metallov / A.V. Kosmynin, M.R. Petrov // Sovremennye problemy nauki i obrazovanija. – 2006. – №6 – S. 47–48.
4. Breshev V.E. Privody mashin na reguliruemyh konicheskikh aerostaticeskikh oporah: Monografija / V. E. Breshev, A. V. Breshev. – Lugansk: Izd-vo Luganskogo gosudarstvennogo universiteta im. V. Dalja, 2016. – 200 s.
5. Kostjuk A.G. Dinamika i prochnost' turbomashin: uchebnik dlja vuzov / A.G. Kostjuk. – 3-e izd., pererab. i dop. – M. : Izdatel'skij dom MIEI, 2007. – 476 s.

**Breshev V.E.**

### CHARACTERISTICS STUDYING OF CONICAL AEROSTATIC DRIVE THROUGH MODERNIZATION OF BEARING SYSTEM

*A virtual three-dimensional model of direct noncontact drive on conical aerostatic bearings with different geometries and an algorithm for studying its dynamic characteristics by*

*means of CAD are considered. The drive is considered as a single mechanical or dynamic system, the properties of which change in the process of upgrading its support system. Modernization consists of boring under the cone of the exit of feeders and installation of a labyrinth seal on the conical surface of the right support of the drive. The results of a numerical evaluation of the efficiency of drive modernization obtained in the course of computational experiments in the CAD / CAE are presented. At the same time, are investigated: the distribution of the pressure of the gas lubricant in the support gap; the change in critical rotational frequencies and responses to the introduced imbalance of the rotor; trajectory of motion and the amplitude of vibration of the supports before and after modernization. The influence of this modernization on the geometric, static and dynamic characteristics of aerostatic bearings, as well as on the functionality and dynamic stability of the entire drive, is analyzed.*

**Key words:** *noncontact drive, unbalance, oscillation amplitudes, dynamic stability.*

**Брешев Владимир Евгеньевич**, к.т.н., доцент, доцент кафедры «Машиноведение» ГОУ ВПО ЛНР «Луганский национальный университет имени Владимира Даля», г. Луганск.

**E-mail:** veb\_lug@mail.ru

**Breshev Vladimir Evgen'evich**, Candidate of technical sciences, Associate professor, Associate Professor at the Department of Machine Science Engineering, State Educational Establishment of Higher Professional Education «Lugansk Vladimir Dahl National University», Lugansk.

**E-mail:** veb\_lug@mail.ru

**Рецензент: Утутов Николай Лазаревич**, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Машиноведение» ГОУ ВПО ЛНР «Луганский национальный университет имени Владимира Даля».

*Статья подана 23.11.2017*

УДК 669.162.046

## ПОВЫШЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ПОДАВЛЕНИИ БУРОГО ДЫМА АЗОТНО-ВОДНЫМ АЭРОЗОЛЕМ

Белоусов В.В., Бодряга В.В., Бондаренко В.И., Недопекин Ф.В.

## ENVIRONMENTAL SAFETY IMPROVEMENT IN SUPPRESSION OF A RED FUME BY NITROGEN-WATER AEROSOL

Bilousov V., Bodryaga V., Bondarenko V., Nedopekin F.

*Рассматривается механизм образования бурого дыма при переливах чугуна. В результате исследований определены рациональные значения расхода нейтрального газа и степени распыления воды при использовании азотно-водного метода дымоподавления. Использование полученных результатов в условиях металлургического производства позволяет значительно улучшить экологическую обстановку в миксерных отделениях и снизить техногенную нагрузку на окружающую среду.*

**Ключевые слова:** экологическая проблема, миксер, ковши, бурый дым, пылеподавление, азотно-водный аэрозоль.

**Введение.** Проблема охраны окружающей среды является одной из самых актуальных проблем современности. Металлургическое производство является одним из самых крупных загрязнителей воздушной среды. На долю предприятий черной металлургии приходится 10% выбросов сернистого газа, около 40% окиси углерода и 15% выбросов пыли, из которых 30÷40% составляют неорганизованные выбросы, т.е. выбросы, не прошедшие систему отвода и очистки [1].

Борьба с неорганизованными выбросами в атмосферу вредных веществ, создаваемых в результате производственных операций на металлургических предприятиях, является одной из актуальнейших экологических проблем Донбасса и других промышленных регионов Украины. Основным компонент выбросов в миксерных отделениях – бурый дым, представляющий собой смесь оксидов железа, – практически не улавливается при традиционных методах очистки.

Каждая порция чугуна на пути от доменной печи до сталеплавильного агрегата переливается 4 раза: при выпуске на литейном дворе доменной печи, при заливке и сливе металла в миксерном

отделении и при заливке в сталеплавильный агрегат (рис 1). Каждый перелив сопровождается выбросом в атмосферу значительного количества пыли, состоящей из трёх основных компонентов: крупнодисперсной графитсодержащей фракции, включающей графитную спель и металлические частицы, а также из мелкодисперсных оксидов железа (бурого дыма) [1-4].

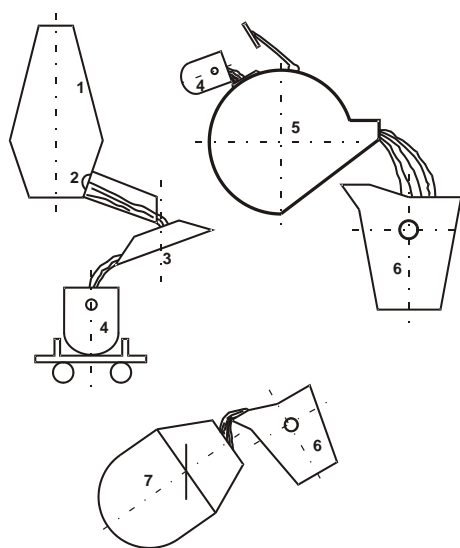


Рис. 1. Переливы чугуна в ходе металлургического производства: 1-доменная печь; 2-лётка; 3-качающийся желоб; 4-доменный ковш; 5-миксер; 6-конвертерный ковш; 7-конвертер [1].

В связи с этим практический интерес представляют исследования процесса образования бурого дыма и разработка технологических приёмов снижения его выбросов. Бурый дым образуется в ходе плавки в металлургических агрегатах и в процессе перелива чугуна. Пыль, выделяющаяся при переливах чугуна, состоит в основном, из двух компонентов: крупнодисперсной графитной спели и

мелкодисперсного бурого дыма. Соотношение этих компонентов зависит от типа технологической операции и конкретных условий её протекания, но в среднем, содержание графитной спели составляет 25-35% при заливке и 20-35% при сливе чугуна, а остальную часть выбросов составляет бурый дым.

**Механизм образования бурого дыма.** Бурый дым при переливах чугуна образуется в результате взаимодействия брызг металла с кислородом газовой фазы. На поверхности капли одновременно с выгоранием поверхностного углерода происходит интенсивное окисление железа, что приводит к образованию на поверхности брызг закисного слоя. За счёт тепла экзотермической реакции окисления железа, капля разогревается до температуры, зависящей от размера капли  $[Fe] + 1/2 O_2 = [FeO]$  [2, 3].

В случае разогрева капли металла до 2500°C, происходит разрушение оксидного слоя и полное сгорание капли с образованием бурого дыма. В противном случае, образовавшаяся плёнка не разрушается и затрудняет доступ кислорода к поверхности жидкого металла. Поэтому после образования оксидного слоя крупные капли начинают охлаждаться и затем взрываются в результате образования внутри капли пузырька монооксида углерода в ходе реакции  $(FeO) + [C] = [Fe] + CO \uparrow$ . В результате образуются более мелкие брызги, которые служат источником образования бурого дыма [2,3].

Таким образом, при переливах чугуна должны последовательно реализовываться два различных механизма взаимодействия капли металла с кислородом. Вначале крупные брызги окисляются с образованием пузырька монооксида углерода, что приводит к взрыву этих капель, а затем образовавшиеся мелкие капли окисляются в режиме тотального горения, что приводит к образованию бурого дыма [2,3].

Для снижения выбросов обычно осуществляют их отвод с помощью дымососов большой мощности с последующей очисткой от пыли и сбросом очищенных газов в атмосферу. При этом очистка отведенных газов должна производиться в две этапа: первый этап – циклоны, улавливающие графитсодержащую пыль (пригодную для утилизации); второй этап – рукавные фильтры или электрофильтры (громоздкие и сложные в эксплуатации аппараты, которые требуют больших капитальных затрат) для улавливания мелкодисперсного бурого дыма. Следовательно, использование традиционных методов снижения выбросов при переливах металла требует значительных затрат. Вследствие этого в настоящее время многие литейные дворы и миксерные отделения металлургических заводов Украины вообще не оборудованы никакой системой аспирации, а неорганизованные выбросы поступают в атмосферу без всякой очистки [2].

Поэтому актуальным является создание технологических приёмов, позволяющих подавить процесс пылеобразования и обеспечить снижение выбросов в атмосферу без использования дорогостоящих газоочистных агрегатов. Эффективным решением, данной проблемы, является создание в зоне диспергирования струи чугуна атмосферы с пониженным содержанием кислорода с целью предотвратить окисление брызг металла и подавить, таким образом, образование бурого дыма [3].

**Подавление бурого дыма азотно-водным аэрозолем.** В связи с дороговизной азота, а также в связи с тем, что не на всех металлургических заводах имеется азот или другой нейтральный газ в достаточном количестве, целесообразно вместо азота подавать какой-нибудь более дешёвый и легко доступный реагент, способный заменить азот или который можно было бы подавать вместе с азотом, максимально уменьшая, таким образом, расход нейтрального газа. В качестве такого реагента предлагается вода.

Подавая тонкораспыленную воду вместе с азотом в ковш при наполнении его жидким чугуном, вода будет испаряться и вытеснять воздух из ковша, действуя аналогично нейтральному газу. Но прежде, чем подавать воду в ковш, необходимо знать оптимальный диаметр капли воды. Если капля будет слишком мала, то она испарится намного раньше, чем долетит до струи металла, сильно уменьшая, таким образом, эффективность пылеподавления. А если капля будет слишком велика, то на струю металла попадет вода, а не пар, что нежелательно.

Для нахождения оптимального диаметра капли решим следующую задачу. Рассмотрим ковш, в который наливают жидкий чугун. На струю подают тонкораспыленную воду, на уровень верхней кромки ковша. Сопло для подачи аэрозоля располагают на высоте 2 м от верхней кромки ковша. Рассмотрим отдельную каплю в потоке воды. Температура окружающего воздуха  $T_{cp} = 150 \div 200^\circ C$ . Начальная температура капли  $T_0 = 20^\circ C$ . Пока капля летит к струе чугуна она нагревается и испаряется. Будем считать, что пока капля не нагрелась до 100°C, испарение не происходит, а как только температура капли повысится до этой температуры, капля мгновенно испаряется. Необходимо найти такой диаметр капли, чтобы за время полета к струе металла она успела испариться.

Для решения этой задачи составим уравнение теплового баланса капли. Так как мы считаем, что капля испаряется мгновенно по достижении 100°C, то в уравнении мы будем учитывать только два процесса передачи тепла:

1. нагрев капли от окружающей среды от 20°C до 100°C;
2. обмен тепла между окружающей средой и каплей. Запишем уравнение теплового баланса:

$$\alpha(T_{cp} - T) = \frac{mc}{F} \frac{\partial T}{\partial \tau}, \quad (1)$$

где  $c$  – теплоемкость воды;  $F$  – площадь поверхности капли;  $T$  – температура капли;  $m$  – масса капли;  $\tau$  – время разогрева;  $\alpha$  – коэффициент теплообмена воды.

Будем считать, что температура капли изменяется линейно:

$$T = T_0 + \tau \cdot \frac{\partial T}{\partial \tau}.$$

Подставим это выражение в (1) и проинтегрируем по  $T$  от 20°C до 100°C и по времени от 0 до  $\tau$ , которое надо найти. Получим

$$\tau = \frac{mc}{\alpha F} \cdot 0,5596. \quad (2)$$

Подставляя вместо  $m$  и  $F$  выражения  $4/3(\pi R^3 \rho)$  и  $4\pi R^2$  соответственно, то найдем  $m/F$ , которое равно  $\rho R/3 = \rho d/6$ . Следовательно, (2) примет вид

$$\tau = \frac{cd\rho}{6\alpha} \cdot 0,5596. \quad (3)$$

Найдем теперь зависимость  $\alpha(d)$ . Зная её, получим зависимость  $\tau(d)$ .

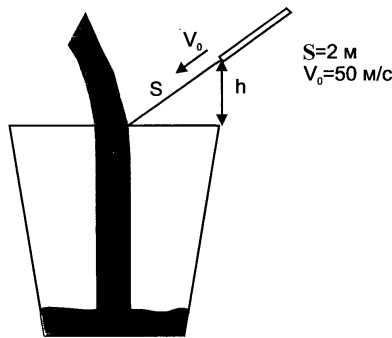


Рис. 2. Модель подачи азотно-водного аэрозоля в ковш при его наполнении жидким чугуном

Для определения зависимости  $\alpha(d)$  используем зависимость коэффициента теплоотдачи  $Nu$  при вынужденном обтекании шара в виде [5]:

$$Nu = 2 + 0,03 Pr^{0,33} Re^{0,54} + 0,35 Pr^{0,35} Re^{0,58} \quad (4)$$

где  $Pr = 0,7$ ;  $Re = \frac{Vd}{\nu} = 35,7 \cdot 10^5 \cdot d$

Будем изменять  $d$  от 50 мкм до 500 мкм. Изменяя  $d$  и подставляя его в (4) получим  $Nu$ .

$Nu = \frac{\alpha d}{\lambda}$ , следовательно  $\alpha = \frac{Nu \lambda}{d}$ , где  $\lambda = 257 \cdot 10^{-4}$ .

Подставляя  $Nu$  получим  $\alpha(d)$  (таблица 1).

Таблица 1  
Зависимость коэффициента теплообмена воды от диаметра капли воды

$d$	50	100	150	200	250	300	350	400	450
$\alpha$	4465	3079	2503	2170	1947	1783	1657	1556	1473

Зная  $\alpha$  и  $d$  и подставляя их в (4) получим зависимость  $\tau(d)$  (таблица 2).

Таблица 2  
Зависимость времени разогрева капли воды от ее диаметра для  $T_{cp} = 150^0 C$

$d, \text{ мкм}$	50	100	150	200	250	300	350	400	450
$\tau, \text{ мс}$	6,5	18,8	34,8	53,5	74,6	97,7	122,7	149,3	177,4

Время полета капли до струи металла  $\tau_0 = 44,7 \text{ мс}$ , и сравнивая это значение с полученным в таблице 2, мы видим, что оптимальный диаметр капли равен 150 мкм. Таким образом, получен рациональный размер капли воды при использовании азотно-водного аэрозоля при подавлении бурого дыма.

**Степень пылеподавления азотно-водным аэрозолем.** Степень пылеподавления в зависимости от концентрации кислорода от газовой фазы

$$\varepsilon = 1 - \sqrt{\frac{29}{3,3 + \{O_2\}_{ob}}} \exp\left(2,17 - \frac{628}{3,3 + \{O_2\}_{ob}}\right), \quad (5)$$

Подаваемый в ковш азотно-водный аэрозоль снижает концентрацию кислорода в объеме ковша и одновременно уменьшает количество поступающего в ковш воздуха. Используя для водяного пара закон Менделеева-Клапейрона найдем объем, занимаемый данной массой воды при  $T = 150^0 C$  и  $p = 1 \text{ атм}$ .

$$V = Q + Q \cdot (1,7m) = Q(1 + 1,7m)$$

Предполагая, что весь азотно-водный аэрозоль поступает в ковш, можно связать его расход с концентрацией кислорода в газовой фазе и

$$\{O_2\}_{ob} = 21 - 1,24Q(1 + 1,7m) \quad (6)$$

где  $Q$  – расход нейтрального газа,  $\text{м}^3/\text{с}$ .  $m$  – масса воды, подаваемой в ковш на  $1 \text{ м}^3$ . Подставляя (6) в

(5) получим степень пылеподавления азотно-водным аэрозолем.

$$\varepsilon = 1 - \frac{\sqrt{51}}{\sqrt{51,1 - Q(1+1,7m)}} \cdot \exp\left(-\frac{21,7Q(1+1,7m)}{51,1 - Q(1+1,7m)}\right) \quad (13)$$

Рассмотрим случаи, когда на каждый кубический метр азота в ковш подается 200 г. и 400г. воды.

1. Если на каждый кубический метр азота в ковш подается 200 г воды, то зависимость  $\varepsilon(\{O_2\}_{ob})$  примет вид

$$\varepsilon = 1 - \sqrt{\frac{38}{38,1 - Q}} \exp\left(-\frac{21,7Q}{38,1 - Q}\right) \quad (14)$$

2. Если на каждый кубический метр азота в ковш подается 400 г воды, то зависимость  $\varepsilon(\{O_2\}_{ob})$  примет вид

$$\varepsilon = 1 - \sqrt{\frac{30,3}{30,4 - Q}} \exp\left(-\frac{21,7Q}{30,4 - Q}\right) \quad (15)$$

Из рисунка 3 видно, что, добавляя к азоту воду, можно существенно повысить степень пылеподавления. Так, например, при расходе азота  $3,5 \text{ м}^3/\text{с}$  без добавления воды степень пылеподавления равна 79% [4], но, добавляя к каждому кубическому метру азота всего лишь 200 г. воды мы можем увеличить степень пылеподавления до 88,3%, а, добавляя 400г воды - до 93,7%.

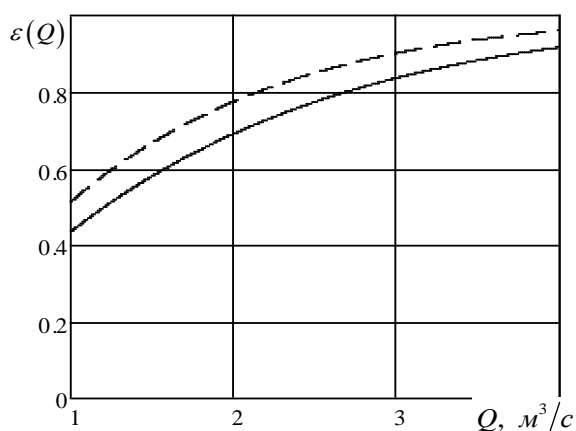


Рис. 3. Степень пылеподавления от расхода азотно-водного аэрозоля:

— с добавлением 200 гр воды на  $1 \text{ м}^3$ ;  
 - - с добавлением 400 гр воды на  $1 \text{ м}^3$

## Выводы.

1. Использование пылеподавления азотно-водным аэрозолем позволяет полностью отказаться от дорогостоящей второй ступени газоочистки – электрофильтров или тканевых рукавных фильтров.

2. Получено, что при расходе азота  $3,5 \text{ м}^3/\text{с}$  добавляя к каждому кубическому метру азота:

- 200 г. воды степень пылеподавления 88,3%;
- 400 г воды степень пылеподавления 93,7%

## Литература

1. Belousov V.V. Mathematical simulation of emission aerodynamics during cast iron overflows with regard to nitrogen jet / V.V. Belousov, V.V. Bodryaga, V.A. Kravets, F.V. Nedopekin et al.// Safety in technosphere, collection of articles. – Izhevsk: Institute of Computer Science, – № 10. – 2016. – P. 82-92.

2. Bilousov V. The decision of environmental problems at transfuse of metal from mixer in a ladle /V. Bilousov, V. Bodryaga, V. Kravets, F. Nedopekin // Interdisciplinary Integration of Science in Technology, Education and Economy. Monograph / edited by Shalapko J. and Zoltowski B.; Polish Mechanical Engineers and Technicians Association. Department in Bydgoszcz - 2013. - 646 p. - ISBN 978-617-70-94-07-3 – P. 107-117.

3. Бодряга В.В. Разработка методики улучшения экологической обстановки при переливах чугуна в миксерном отделении МК им. Ильича / В.В. Бодряга, Ф.В. Недопекин, В.А. Кравец, В.В. Белоусов // Проблемы экологии. - 2013 - №1 (31) - С. 73-78.

4. Бодряга В.В. Экспериментальное исследование параметров выбросов при сливе чугуна из миксера в ковш на мк «АЗОВСТАЛЬ» /В.В. Бодряга, В.А. Кравец, Ф.В. Недопекин// Известия ВУЗов. Черная металлургия. – 2012. – №11. – С. 3– 5.

5. Кулинченко В.Р. Справочник по теплообменным процессам. – К.:Тэхника, 1990. – 165 с.

## References

1 Bodryaga V. Development of environmental improvement method in overflow pig iron for mixer department Ilyich iron and steel works / V. Bodryaga, F. Nedopekin, V. Kravets, V. Bilousov// Ecological problems - 2013 - №1 (31) - P. 73-78.

2 Bodryaga V.V., Kravetz V.A., Nedopekin F.V. Slopping parameter at pig iron sink from mixer into ladle experimental study conducted at integrated metallurgical plant “azov steel”. *Izvestiya Visshikh Uchebnykh Zavedenii. Chernaya Metallurgiya = Izvestiya. Ferrous Metallurgy.* 2012; –55(11):– P. 3-5. (In Russ.) DOI:10.17073/0368-0797-2012-11-3-5.

3 Kulichenko V.R. Handbook of heat transfer processes. – K.:Tehnika, 1990. – 165 s.

**Bilousov V.V., Bodryaga V.V., Bondarenko V.I., Nedopekin F.V.**

## ENVIRONMENTAL SAFETY IMPROVEMENT IN SUPPRESSION OF A RED FUME BY NITROGEN-WATER AEROSOL

*The mechanism of red fume formation during down flow weir of pig-iron. As a result of numerical investigations the rational values of indifferent gas consumption and scale of water dispersion are obtained for nitrogen and aerosol*



*methods of fume suppression. Application of obtained results in metallurgical production allows to improve significantly ecological state in mixer sections and to reduce technogenic effect on environment.*

**Key words:** *ecological problem, mixer, ladle, red fume, dust suppression, nitrogen-water aerosol.*

**Белоусов Вячеслав Владимирович**, д.т.н. профессор зав. кафедрой «Физика неравновесных процессов, метрологии и экологии им. Повха И.Л.» ГОУ ВПО ДНР «Донецкий национальный университет» г. Донецк.

**Bilousov Vyacheslav Vladimirovich**, Doctor of technical sciences, professor. Head of the chair "Physics of nonequilibrium processes, metrology and ecology named Povkh I.L." Donetsk national university.

**E-mail:** v.v.bilousov@gmail.com

**Бодряга Виктор Викторович**, старший преподаватель кафедры «Компьютерных технологий» ГОУ ВПО ДНР «Донецкий национальный университет» г. Донецк.

**Bodryaga Victor Victorovich** Senior lector of chair "Computer technology". Donetsk national university.

**Бондаренко Виталий Иванович**, старший преподаватель кафедры «Компьютерных технологий» ГОУ ВПО ДНР «Донецкий национальный университет» г. Донецк.

**Bondarenko Vitaly Ivanovich** Senior lector of chair "Computer technology". Donetsk national university.

**Недопекин Федор Викторович**, д.т.н. профессор кафедры «Физика неравновесных процессов, метрологии и экологии им. Повха И.Л.» ГОУ ВПО ДНР «Донецкий национальный университет» г. Донецк.

**Nedopekin Fedor Victorovich** Donetsk national university. Doctor of technical sciences, professor of the chair "Physics of nonequilibrium processes, metrology and ecology named Povkh I.L."

**Рецензент: Бирюков Алексей Борисович**, д.т.н., проф., зав. каф. "Техническая физика" ГОУ ВПО "Донецкий национальный технический университет".

*Статья подана 24.11.17*

УДК 621.43.08.

## КРИТЕРИИ ЭФФЕКТИВНОСТИ УСТРОЙСТВ КАСКАДНО-ТЕПЛОВОГО СЖАТИЯ

Данилейченко А.А., Рассадин Д.И., Теренин О.Ю.

## CRITERIA OF EFFICIENCY OF DEVICES OF CASCADE-THERMAL COMPRESSION

Danileychenko A.A., Rassadin D.I., Terenin O.Yu.

*Изложен подход к определению эффективного и адиабатного коэффициентов полезного действия агрегата каскадно-теплового сжатия для случаев его использования в качестве генератора газов и в качестве нагнетателя сжатого воздуха в различных установках. Целесообразность одновременного рассмотрения двух КПД при оценке термодинамического цикла обусловлена возможностью выявления удельного «вклада» различных видов подведенной энергии в производство единицы полезной работы. Сопоставление характеристик рассмотренных КПД дает представление о ресурсных возможностях повышения эффективности агрегата КТС за счет различных факторов.*

**Ключевые слова:** каскадно-тепловое сжатие, генератор газов, компрессор.

**Введение.** Перспективное направление улучшения топливной экономичности силовой установки связывается с использованием теплопреобразующих устройств каскадно-теплового сжатия (КТС) в системах утилизации «сбросной» теплоты отработавших газов и охлаждающей жидкости [1, 2, 3].

К числу основных достоинств роторных устройств КТС непрерывного действия относятся простота изготовления, отсутствие дискретно управляемых запорных органов и вытеснительных элементов. Невысокие затраты энергии на привод ротора обусловлены тем, что сжатие рабочего тела осуществляется за счет процессов каскадного теплообмена между смежными ячейками ротора, в результате использования энергии расширения рабочего тела некоторого объема при его нагревании. Полученный таким образом, сжатый воздух может быть использован для дальнейшего расширения в турбине (в этом случае агрегат КТС рассматривается как генератор газа) или в качестве наддувочного воздуха ДВС [1, 3].

**Цель работы.** Принципиально новая организация рабочего процесса такого устройства предопределяет необходимость использования специфических критериев эффективности

энергопреобразующих процессов, рассмотрению которых и посвящена настоящая работа.

### Изложение основных материалов.

Рассмотрим случай применения агрегата КТС в качестве генератора газов (используемых, например, в расширительных машинах для получения механической работы). Адиабатный КПД генератора КТС определяется по формуле:

$$\eta_{zz}^{ad} = \frac{G_{отб} \cdot \frac{k}{k-1} R \cdot T_{zk} \cdot \left[ 1 - \left( \frac{P_{zk}}{P_o} \right)^{\frac{1-k}{k}} \right]}{Q_{подв}}, \quad (1)$$

где  $G_{отб}$  – расход газов, отводимых к потребителю;  $k$  – показатель адиабаты воздуха;  $R$  – газовая постоянная воздуха;  $P_{zk}$  и  $T_{zk}$  – максимальные давление и температура цикла КТС;  $P_o$  – атмосферное давление;  $Q_{подв}$  – тепловой поток между рабочим телом и стенками утилизационного теплообменника.

В случае применения агрегата КТС в качестве компрессора (источника сжатого воздуха) выражение адиабатного КПД имеет вид:

$$\eta_{кмс}^{ad} = \frac{G_{отб} \frac{k}{k-1} R \cdot T_0 \cdot \left[ \left( \frac{P_{zk}}{P_o} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right]}{Q_{подв}}, \quad (2)$$

где  $T_0$  – температура окружающей среды.

Переходя к реальной установке КТС необходимо учесть дополнительные затраты энергии на привод ротора агрегата КТС. При этом следует иметь ввиду некоторую неоднозначность определения эффективного КПД  $\eta_e$ , ввиду необходимости использования неопределенного коэффициента полезного действия  $\eta_{\delta 1}$  условной

расширительной машины, мощность которой эквивалентна затратам на привод ротора КТС.

Остановимся подробнее на выводе выражения КПД для двух случаев использования агрегата КТС.

При рассмотрении физической сущности эффективного КПД агрегата КТС, используемого в качестве компрессора или генератора газов уместна аналогия с работой газотурбинной установки (ГТУ), соответственно предназначенной для нагнетания воздуха или генерирования горячих газов, т.е. ГТУ, в которой мощность турбины расходуется только на привод компрессора. Для удобства проведения параллельной аналогии далее в тексте используем фигурные скобки < > для обозначения элементов ГТУ, функционально соответствующих элементам агрегата КТС.

а) Случай использования агрегата КТС в качестве генератора газов.

Весь воздух, отводимый от агрегата КТС <компрессора ГТУ> к потребителю  $G_{отб}$  проходит через источник подвода теплоты <камеру сгорания ГТУ>, где нагревается до максимальной температуры  $T_{зк}$ .

При определении эффективного КПД в качестве полезной энергии необходимо рассматривать лишь “рафинированную” часть генерируемого потока, после исключения из него “затратной” части, энергетически эквивалентной мощности привода ротора КТС <компрессора ГТУ> с учетом КПД преобразования в условной расширительной машине (РМ) <турбине ГТУ>.

Расход рабочего тела <газа> через условную расширительную машину привода составляет

$$G_{рм} = \frac{N_{пр}}{H_{зк} \eta_{рм}}, \quad (3)$$

где  $N_{пр}$  – мощность, затрачиваемая на привод ротора КТС <компрессора ГТУ>;  $\eta_{дi}$  – КПД условной расширительной машины;  $H_{зк}$  – располагаемый теплоперепад газов при температуре  $T_{зк}$ , определяемый по формуле

$$H_{зк} = \frac{k}{k-1} RT_{зк} \left[ 1 - \left( \frac{P_{зк}}{P_o} \right)^{\frac{1-k}{k}} \right].$$

Расход, соответствующий полезной составляющей генерируемой энергии, определяется как  $G_{п} = G_{отб} - G_{рм}$ .

Таким образом, эффективный КПД агрегата КТС может быть выражен следующим образом:

$$\eta_{э}^e = \frac{G_{п} H_{зк}}{Q_{подв}} = \frac{G_{отб} H_{зк} - G_{рм} H_{зк}}{Q_{подв}}.$$

С учетом (3) получим

$$\eta_{э}^e = \frac{G_{отб} H_{зк} - \frac{N_{пр}}{\eta_{рм}}}{Q_{подв}} = \frac{G_{отб} \frac{k}{k-1} RT_{зк} \left[ 1 - \left( \frac{P_{зк}}{P_o} \right)^{\frac{1-k}{k}} \right] - \frac{N_{пр}}{\eta_{рм}}}{Q_{подв}}.$$

б) Случай использования агрегата КТС в качестве компрессора.

Воздух, нагнетаемый агрегатом КТС, подводится к потребителю с температурой конца сжатия  $T_{ск}$ , минуя источник подвода теплоты <камеру сгорания ГТУ>. Однако условный расход воздуха, энергетически эквивалентный затратам мощности на привод ротора <компрессора ГТУ> должен быть рассчитан с учетом его подогрева в источнике подвода теплоты <камере сгорания ГТУ> до температуры  $T_{зк}$ . При этом располагаемый теплоперепад потока, отводимого к условной расширительной машине <турбине ГТУ> возрастает пропорционально  $T_{зк}/T_{ск}$ .

Условие энергетической эквивалентности потока через РМ затратам мощности на привод ротора может быть записано в виде

$$G_{рм} H_{ск} T_{зк} / T_{ск} \eta_{рм} = N_{пр},$$

где  $H_{ск} = \frac{k}{k-1} RT_{ск} \left[ 1 - \left( \frac{P_{зк}}{P_o} \right)^{\frac{1-k}{k}} \right]$  – располагаемый

теплоперепад воздуха, отведенного к условной расширительной машине. Откуда

$$G_{рм} = \frac{N_{пр} T_{ск}}{\eta_{рм} H_{ск} T_{зк}}. \quad (4)$$

Поскольку в агрегате КТС, в отличие от ГТУ, привод ротора осуществляется от внешнего источника и тепло на подогрев потока, отводимого к РМ в реальном процессе не затрачивается, то при определении потенциальных затрат тепловой энергии (с учетом необходимости привода ротора) необходимо учесть дополнительное тепло на подогрев потока  $G_{рм}$  посредством слагаемого в знаменателе формулы эффективного КПД

$$\eta_e = \frac{(G_{отб} - G_{рм}) H_{к}^{ad}}{Q_{подв} + Q_{пр}} = \frac{G_{отб} H_{к}^{ad} - G_{рм} H_{к}^{ad}}{Q_{подв} + Q_{пр}},$$

здесь  $H_{к}^{ad} = \frac{k}{k-1} R \cdot T_0 \cdot \left[ \left( \frac{P_{зк}}{P_o} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right]$  –

адиабатический теплоперепад в компрессоре.

Целесообразность одновременного рассмотрения адиабатного и эффективного КПД при оценке термодинамического цикла обусловлена возможностью выявления удельного «вклада» различных видов подведенной энергии в производство единицы полезной работы. Например, прямое сопоставление  $\eta_e$  и  $\eta_{кмс}^{ad}$  позволяет оценить составляющие затрат на привод ротора.

Принимая во внимание  $Q_{пр} = G_{рм} C_p (T_{зк} - T_{ск})$  и с учетом (4) окончательно получим

$$\eta_e = \frac{G_{омд} k / (k-1) R T_0 \left( \left( \frac{P_{зк}}{P_0} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right) - \frac{N_{пр} T_0 (P_{зк} / P_0)^{\frac{k-1}{k}}}{\eta_{рм} T_{зк}}}{Q_{подв} + C_p \frac{N_{пр}}{\eta_{рм} k / (k-1) R T_{зк} \left( 1 - \left( \frac{P_{зк}}{P_0} \right)^{\frac{1-k}{k}} \right)} (T_{зк} - T_{ск})} \quad (5)$$

Особенностью рабочего процесса КТС является существенная зависимость индикаторного преобразования тепловой энергии от качества продувки ячеек свежим воздухом (рис. 1).

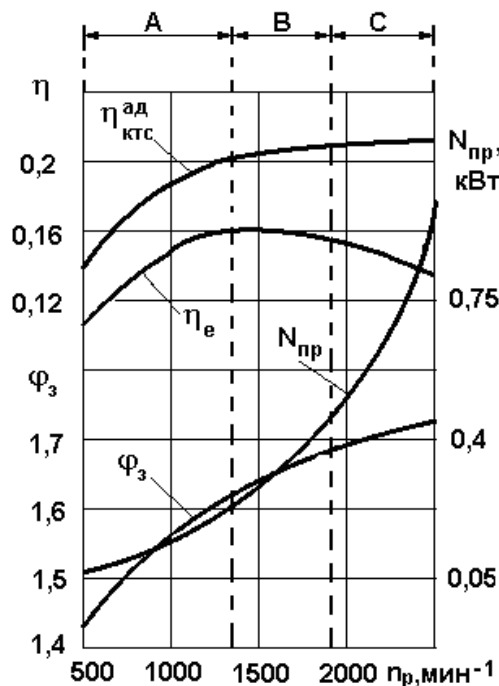


Рис. 1. Влияние частоты вращения ротора на показатели компрессора КТС на температурном режиме  $T_z = 650$  К

Анализ кривых изменения  $\eta_e$  и  $\eta_{кмс}^{ad}$  в зависимости от частоты вращения ротора ( $n_p$ ), при неизменной максимальной температуре цикла ( $T_z$ ) показывает, что в области А повышение  $n_p$  однозначно целесообразно, поскольку обеспечивает превалирующее влияние коэффициента продувки  $\phi_{пр}$  на  $\eta_e$ , о чем свидетельствует интенсивный рост

$\eta_{кмс}^{ad}$ . В области С интенсификация продувки (за счет увеличения  $n_p$ ) не обеспечивает заметного влияния на эффективность индикаторного преобразования ( $\eta_{кмс}^{ad}$ ), но сопровождается существенным увеличением затрат мощности на привод ротора ( $N_{пр}$ ), что обуславливает снижение  $\eta_e$ . Целесообразная степень интенсификации продувки в области В зависит от относительной ценности двух видов энергии в условиях конкретной силовой установки.

**Выводы.** Сопоставление характеристик рассмотренных КПД дает представление о ресурсных возможностях повышения эффективности системы КТС за счет различных факторов. Целесообразная степень интенсификации продувки зависит от относительной ценности двух видов энергии в условиях конкретной силовой установки.

#### Л и т е р а т у р а

1. Данилейченко, А.А. Рабочий цикл компрессора каскадно-теплого сжатия /А.А. Данилейченко, М.А.Чугунков, С.С.Геливеров// IV Всероссийская научно-техническая конференция молодых исследователей «Актуальные проблемы строительства, ЖКХ и техноферной безопасности», 24-29 апреля 2017г., Институт архитектуры и строительства Волгоградского государственного технического университета. – Волгоград: ИАиСВГТУ, 2017, С. 288-290.

2. Данилейченко, А.А. Экологические показатели дизеля 6Ч12/14 с компрессором каскадно-теплого сжатия /А.А.Данилейченко, М.А. Брянецев// Проблемы качества и эксплуатации автотранспортных средств: материалы XIII междунар. заочн. науч.-техн. конф. 18 мая 2017 г. – Пенза: ПГУАС, 2017, стр.69-75.

3. Крайнюк, А.И. Применение эффекта теплового сжатия для улучшения энергоиспользования в теплосиловых установках /А.И.Крайнюк, Ю.В.Сторчеус, А.А.Данилейченко// Весник ВУНУ. –Луганск:– 2000.- №9. – С.182-189.

#### R e f e r e n c e s

1.Danileichenko, A.A. Rabochii cikl kompressora kaskadno\_teplovogo sjatiya /A.A. Danileichenko, M.A.Chugunkov, S.S.Geliverov// IV Vserossiiskaya nauchno-tehnicheskaya konferenciya molodih issledovatelei «Aktualnie problemi stroitelstva JKH i tehnosfernoi bezopasnosti», 24-29 aprelya 2017g. Institut arhitekturi i stroitelstva Volgogradskogo gosudarstvennogo tehnicheskogo universiteta. – Volgograd: IAI SVGTU, 2017, str. 288-290.

2.Danileichenko, A.A. Ekologicheskie pokazateli dizelya 6Ch12/14 s kompressorom kaskadno\_teplovogo sjatiya /A.A.Danileichenko, M.A. Bryancev// Problemi kachestva i ekspluatatsii avtotransportnih sredstv, materialy XIII mejdunar. zaochn. nauch.tehn. konf. 18 maya 2017 g. – Penza, PGUAS, - 2017, str.69-75.

3.Krainyuk, A.I. Primenenie effekta teplo\_vogo sjatiya dlya uluchsheniya energoispolzovaniya v teplosilovih ustanovkah /A.I.Krainyuk, Yu.V.Storcheus, A.A.Danileichenko// Vesnik VUNU. –Lugansk: – 2000.- №9. – S.182\_189.

**Danileychenko A.A., Rassadin D.I., Terenin O.Yu.**  
**CRITERIA OF EFFICIENCY OF DEVICES OF**  
**CASCADE-THERMAL COMPRESSION**

*Going near determination of specific criteria of efficiency of energytransforming processes of power devices of cascade-thermal compression of the different setting is expounded with fundamentally new organization of working process.*

*The effective is considered and adiabatic output-input of aggregate of cascade-thermal compression ratios for the cases of his using as a generator of gases and as a supercharger of the compressed air in different options. Expediency of simultaneous consideration of adiabatic and effective output-input ratio at the estimation of thermodynamics cycle is conditioned by possibility of exposure of specific "deposit" of different types of the brought energy in the production of unit of useful work.*

*Comparison of descriptions of the considered output-input ratios gives an idea about resource possibilities of increase of efficiency of the system cascade-thermal compression due to different factors. Factors influencing on efficiency of work of aggregate of factorable-thermal compression are analysed.*

**Key words:** cascade-thermal compression, gas generator, compressor.

**Данилейченко Александр Анатольевич** – канд. техн. наук, доц., заведующий кафедрой «Двигатели внутреннего сгорания», ГОУ ВПО ЛНР «Луганский национальный университет имени Владимира Даля».  
**E-mail:** 280376@rambler.ru

**Danileychenko Alexander Anatolievich** - Candidate of Technical Sciences, assistant professor, Head of the «Internal combustion engine» Department of Volodymyr Dahl Lugansk National University..  
**E-mail:** 280376@rambler.ru

**Рассадин Дмитрий Игоревич** – студент группы ТЛ-871м кафедры «Двигатели внутреннего сгорания», ГОУ ВПО ЛНР «Луганский национальный университет имени Владимира Даля».  
**E-mail:** 280376@rambler.ru

**Rassadin Dmitriy Igorevich** - student gr. TL-871m of the «Internal combustion engine» Department of Volodymyr Dahl Lugansk National University.  
**E-mail:** 280376@rambler.ru

**Теренин Олег Юрьевич** – студент группы ТЛз-871м кафедры «Двигатели внутреннего сгорания», ГОУ ВПО ЛНР «Луганский национальный университет имени Владимира Даля».  
**E-mail:** 280376@rambler.ru

**Terenin Oleg Yurevich** - student gr. TLz-871m of the «Internal combustion engine» Department of Volodymyr Dahl Lugansk National University.  
**E-mail:** 280376@rambler.ru

**Рецензент: Куликов Юрий Андреевич**, д.т.н., проф. кафедры «Двигатели внутреннего сгорания», ГОУ ВПО ЛНР «Луганский национальный университет имени Владимира Даля».

*Статья подана 30.11.2017*

УДК 656

## ИНТЕГРАЦИЯ ГЛОБАЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ БУДУЩЕГО С ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫМИ ТРАНСПОРТНЫМИ СИСТЕМАМИ

Косоногова Л. Г. Кобылинский А.Ю.

### THE INTEGRATION OF GLOBAL TECHNOLOGIES OF THE FUTURE WITH INTELLIGENT TRANSPORT SYSTEMS

Kosonogova L. G., Kobylinskii, A. Y.

Одним из реальных последствий информационной революции конца прошлого века является расширение процесса глобализации. В значительной степени этому способствует интеграция трех глобальных технологий: информационной технологии, телекоммуникации и транспорта.

**Ключевые слова:** транспорт, система, дорога, концепция, архитектура.

Сближение информационной технологии и телекоммуникации стала практической основой образования глобального информационного общества [1]. Термины «инфокоммуникация» и «телематика» (телекоммуникация + информатика) стали синонимами для обозначения процесса интеграции.

**Цель статьи** – раскрытие процесса глобализации в развитии интеграции технологий интеллектуальных транспортных систем.

**Изложение основного материала.** Одним из наиболее ярких проявлений комплексного подхода в развитии инфотелекоммуникационных технологий стала целевая подпрограмма «Телематика», проводимая в рамках четвертой европейской программы Framework Program (FP) [2]. Более 400 выполненных научных проектов были скопированы в трех основных направлениях (рис. 1): телематика для сервисов и общественных интересов, телематика для знаний и телематика для улучшения занятости и качества жизни.

Четвертое направление, «горизонтальное», было ориентировано на разработку проектов телематики, поддерживающих и усиливающих проекты по трем основным направлениям.

Всемирная дорожная ассоциация (PIARC) на основе опыта и тенденций развития систем транспортной телематики предложила классификацию [3], содержащую 32 сервиса пользователей ИТС, условно сгруппированных по восьми категориям (табл. 1).

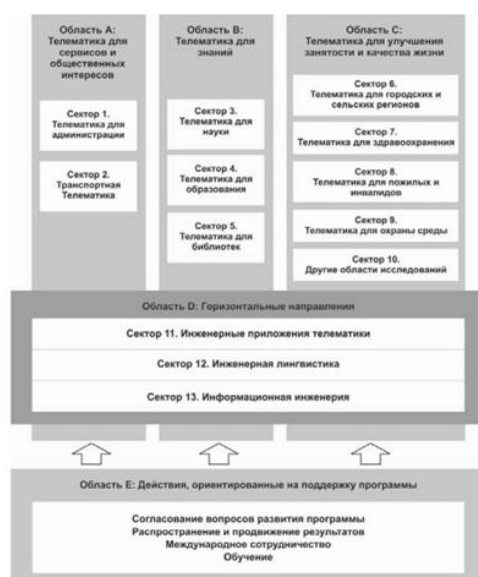


Рис. 1. Прикладные европейские программы в области телематики

Таблица 1

#### Сервисы пользователей ИТС.

Группа ИТС	Сервисы пользователей ИТС
Управление дорожным движением	1. Поддержка транспортного планирования
	2. Управление дорожным движением
	3. Управление в чрезвычайных транспортных ситуациях
	4. Управление требованиями по транспортированию
	5. Политика в области регуляции дорожного движения
	6. Управление технической эксплуатацией инфраструктуры
Информация для путешественников	7. Информация перед поездкой
	8. Информация во время движения для водителей
	9. Информация во время движения для общественного транспорта
	10. Индивидуальные информационные услуги
	11. Дорожные руководства и навигация
Системы транспортных средств	12. Улучшение распознавания
	13. Автоматизированное управление транспортным средством
	14. Предупреждение боковых столкновений
	15. Предупреждение боковых столкновений
	16. Системы безопасности
	17. Системы предотвращения аварий
	18. Представительные операции на коммерческом транспорте
Коммерческие транспортные средства	19. Административные процессы на коммерческом транспорте
	20. Автоматизированная инспекция безопасности на дорогах
	21. Мониторинг безопасности в коммерческих автомобилях
	22. Управление парком коммерческих транспортных средств
Общественный транспорт	23. Управление общественным транспортом
	24. Управление транспортом по требованию
	25. Управление комбинированным транспортом
Управление в чрезвычайных ситуациях	26. Сигнализация опасной ситуации и личная безопасность
	27. Управление аварийно-спасательным транспортом
	28. Опасные грузы и предупреждение инцидентов
Электронные платежи	29. Электронные финансовые перечисления
	30. Безопасность в общественном транспорте
Безопасность	31. Безопасность инвалидов
	32. Интеллектуальные перекрестки

Указанная классификация не ограничивается независимым развитием указанных сервисов, предполагается их комплексное использование для достижения синергетического положительного эффекта интеграции.

Предоставляя новые возможности для профессионалов в области транспорта, ИТС бросают им вызов, требуя освоения новых технологий и сотрудничества с разработчиками телекоммуникационных, навигационных и информационных технологий.

Архитектура систем транспортной телематики определяет основные принципы организации ИТС и взаимосвязи компонентов ИТС между собой и с внешней средой, а также принципы и руководство по их разработке, внедрению и оценке эффективности использования. Архитектура ИТС представляет собой некую рамочную структуру, в границах которой могут быть предложены мультикритериальные подходы к проектированию с учетом индивидуальных потребностей заказчика и необходимых пользовательских сервисов. В настоящее время широко используются два основных подхода к созданию архитектуры ИТС, они ориентированы, и выбором тех сервисов, которые должны быть представлены указанным пользователям. Традиционно основными пользователями ИТС являются: водители общественного, коммерческого и индивидуального транспорта, в частности водители специальных категорий (инвалиды и пожилые люди); пешеходы и велосипедисты; пассажиры общественного транспорта;

Транспортная телематика интенсивно развивается для всех видов транспорта: наземного, авиационного, железнодорожного, водного. Особенно велика роль ИТС в решении задач интермодальности. Однако наиболее комплексные и масштабные исследования в области транспортной телематики проводятся для наземного транспорта, который и будет основным объектом рассмотрения в настоящей статье.

В наши дни транспорт выступает как одна из главных движущих сил в экономическом развитии. Современная жизнь, с одной стороны, диктует новые требования к мобильности, а с другой — предъявляет все более жесткие требования к безопасности движения, требуя создания новых сервисов для пользователей в условиях развития всех составляющих транспортной системы с учетом рекомендаций экологической службы (рис. 2).

Функциональность системы в целом определяется разработкой логической архитектуры ИТС, содержащей представленные в виде диаграмм потоки данных в системе. Взаимодействие основных составляющих национальной архитектуры ИТС (рис. 3).



Рис. 2. Место инфокоммуникационных технологий в развитии транспорта



Рис. 3. Взаимодействие основных составляющих архитектуры ИТС

Информационное взаимодействие всех составляющих архитектуры описывается через информационные интерфейсы, которые регламентируются национальными стандартами NTCIP (National Transportation Communications for ITS Protocol). Разработка конкретных региональных архитектур ИТС описывается в специально разработанном руководстве [6].

Эксплуатация в гражданских целях глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) GPS и GLONASS открыла новую эру в использовании ИТС, появилась возможность получать информацию о местонахождении стационарных и мобильных объектов в любом месте и в любое время. Еще большие перспективы в этом направлении открываются с завершением ввода в эксплуатацию европейской спутниковой навигационной системы Galileo.

Однако целый ряд требований ИТС — высокая точность определения местоположения транспортных средств для управления ими в реальном масштабе времени, навигационное обслуживание аварийного транспорта, создание бесперебойного устойчивого навигационного сервиса в условиях тоннелей и многоэтажных городских застроек — не может быть обеспечен возможностями современных ГНСС. Для реализации этих требований требуется интеграция технологий позиционирования с технологиями беспроводной связи в целях создания непрерывной виртуальной среды транспортного управления в любых условиях.

В настоящее время при создании архитектуры современных приемников ГНСС наблюдается переход от аппаратно-ориентированной технологии построения на базе чип-комплектов ASIC (application-specific integrated circuits) к программно-ориентированной технологии на базе сигнальных процессоров DSP (digital signal processor) [8]. Такой подход обеспечивает целый ряд преимуществ: сокращение времени разработки и риска при внедрении, простоту модернизации при разработке новых приложений, увеличение жизненного цикла при сокращении его стоимости и существенное увеличение надежности.

Переход к технологии DSP позволяет создавать навигационные средства, использующие как расширения ГНСС, так и возможности систем связи (рис. 4).

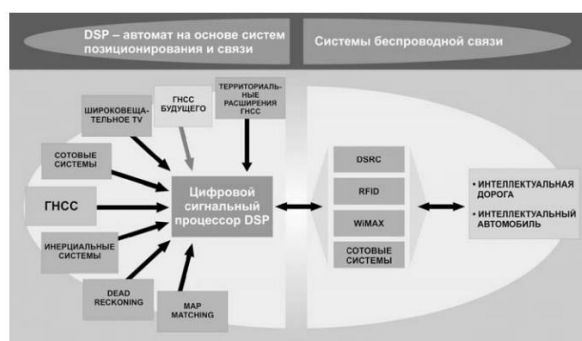


Рис. 4. Технологии, используемые для построения навигационных приложений ИТС

**Вывод.** Внедрение ИТС позволит повысить эффективность управления государственным и муниципальным транспортом за счет применения комплекса, автоматизированных информационных управляющих подсистем, функционально и технически объединенных в ИТС.

#### Л и т е р а т у р а

1. Варакин Л. Е. Глобальное информационное общество: критерии развития и социально-экономические аспекты. — М.: МАС, 2001. — 44 с.
2. Kabasftkin I. Transport Telematics. — Riga: RAU, 1999. — 342 p.
3. Cften K., Miles I. C. ITS Handbook 2000: Recommendations from the World Road Association (PIARC). — Boston; London: Artecft House, 1999. — 434 p.
4. Telematics Master Plan Austria. Telematics Applications for Traffic and Transport. — Federal Ministry of Transport, 2004. — 19 p.
5. National ITS Arcftitecture. — Federal Hightway Administration, 2003.
6. National ITS Arcftitecture Team. Regional ITS Arcftitecture Guidance — Developing, Using and Maintaining on ITS Arcftitecture for Your Region. Report No FHWABOPB02B024, 2001.
7. Bossom R. FRAMEBS Guide to Configuration Management and ITS Arcftitecture Documentation. — Project FRAMEBS Public Report D14, 2003. — 69 p.

8. Ruff S. On the road with GPS. — Traffic technology international, Aug/Sept. 2005. — P. 42–46.

#### References

1. Varakin L. E. the Global information ing society: criteria for the development and socialnew economic aspects. — М.: MAS, 2001. — 44 p.
2. Caasfder I. Transport telematics. — Riga: Rau, 1999. — 342 p.
3. Cften K. I. S. miles Handbook 2000: recommendations from the world Road Association (PIARC). - Boston; London: Artecft House, 1999. — 434 p.
4. The General plan of telematics in Austria. Telematics Applications for traffic and transport. — Federal Ministry of transport, 2004. — 19 S.
5. National Arcftitecture her. — The Federal Office Hightway, 2003.
6. National his team Arcftitecture. Regional leadership Arcftitecture — design, develop and maintain Arcftitecture for your region. Report No. FHWABOPB02B024, 2001.
7. Guide Bossom R. FRAMEBS configuration management and documentation Arcftitecture. — Public report FRAMEBS draft d14, 2003. — 69 S.

**Kosonogova L. G., Kobylinskii A.Y.**  
**THE INTEGRATION OF GLOBAL TECHNOLOGIES OF THE FUTURE WITH INTELLIGENT**

*One of the real consequences of the information revolution of the end of the last century is the expansion of the process of globalization. To a large extent this is facilitated by the integration of three global technologies: information technology, telecommunications and transport.*

**Keywords:** transport, system, road, concept, architecture.

**Косоногова Лариса Георгиевна**, кандидат технических наук, доцент кафедры транспортных систем Луганского национального университета им. Владимира Даля.  
**E-mail:** arbela@mail.ru.

**Kosonogova Larisa Georgievna**, candidate of technical Sciences, associate Professor of the transport systems of the Luhansk national University. Vladimir Dahl.  
**E-mail:** arbela@mail.ru.

**Кобылинский А.Ю.** магистр первого года обучения по специальности «Транспортные системы» Луганского национального университета им. Владимира Даля.  
**E-mail:** Villeon@yandex.ru.

**Kobylynskii, A.Y.** master's degree first year students of the specialty "Transport systems" Luhansk national University. Vladimir Dahl.  
**E-mail:** Villeon@yandex.ru.

**Рецензент:** Куценко А.В. к.т.н., доц. кафедра ТЛ, Луганского национального университета им. Владимира Даля.

Статья подана 29.11.2017



УДК 532.64

**РОЛЬ СМАЧИВАНИЯ В СОЗДАНИИ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ****Рябичева Л.А., Скачко Н.А.****THE ROLE OF WETTING IN DEVELOPMENT OF COMPOSITE MATERIALS****Ryabicheva L.A., Skachko N.A.**

*Исследован процесс смачивания твердой фазы композиционных материалов, которые имеют поверхность, отличающиеся по свойствам. Установлено, что причиной возникновения поверхностного натяжения жидкость – твердое тело является наличие девиаторных компонент тензора межфазных напряжений на основании принципа подобия с деформированием твердого цилиндрического образца. Предложены условия смачивания и несмачивания поверхности твердого тела с учетом соотношения сил адгезии и когезии. Показано возникновения капиллярного эффекта при различных условиях смачивания твердого тела. Именно наличие капиллярного эффекта обуславливает пропитку порошкового материала и цементного геля. Полное несмачивание обеспечивает гидрофобность полимерных материалов.*

**Ключевые слова.** Смачивание, несмачивание, твердая фаза, жидкость, поверхностное натяжение, напряжение, адгезия, когезия.

**Введение.** При создании композиционных материалов, содержащих жидкое вещество, используются такие свойства жидкостей как текучесть, легкая подвижность, способность изменять свою форму под воздействием внешних сил. Способность жидкостей смачивать поверхность твердого тела представляет интерес при создании нового класса композиционных материалов, в состав которых входят твердые фазы, имеющие смачиваемые и несмачиваемые поверхности [1]. Примером такого класса материалов являются порошковые, подвергаемые пропитке; строительные (бетоны), содержащие различные виды заполнителей и добавок (полимеров) [2].

Адгезионное взаимодействие двух конденсированных фаз в присутствии третьей, обычно газообразной, фазы характерно для технологического процесса изготовления композиционных материалов. Смачивание обеспечивает поверхностное явление, заключающееся во взаимодействии жидкости с твердым телом при наличии одновременного контакта трех несмешивающихся фаз.

Основной количественной характеристикой смачивания является краевой угол смачивания ( $\theta$ ),

который представляет собой угол между касательной, проведенной к поверхности жидкости в точке соприкосновения трех фаз, и смоченной поверхностью твердого тела. При разработке композиционных материалов особый интерес представляет величина краевого угла смачивания, при котором происходит ограниченное смачивание или несмачивание ( $90^\circ < \theta < 180^\circ$ ) и смачивание ( $0 < \theta < 90^\circ$ ).

Целью работы является исследование процесса смачивания твердой фазы композиционных материалов, которые имеют поверхности, отличающиеся по свойствам.

**Изложение основных материалов.**

Композиционный материал представляет собой многофазную многокомпонентную дисперсную систему, имеющую характерное поровое строение. В некоторых случаях для получения необходимых свойств материала в качестве добавок используется твердая фаза, не имеющая капиллярной пористости. Такие фазы, например, являются полимеры или отходы их производства и потребления. В некоторых случаях возникают проблемы повышения качества пропитки порошкового материала или улучшение свойств бетона за счет регулирования процесса смачивания твердой фазы жидкостью [3].

Классический подход к описанию явлений смачивания подробно изложен в работе [4]. Для количественного описания смачивания жидкостью твердого тела рассматривается равновесие сил, действующих на элемент контура, образованного пересечением трех границ раздела фаз: газа 1, жидкости 2 и твердого тела 3. Эти силы образованы поверхностными натяжениями на границах раздела рассматриваемых фаз.

Рассмотрение равновесия изображенных на рисунке напряжений позволяет получить известное уравнение Юнга:

$$\cos \theta = \frac{\sigma_{13} - \sigma_{23}}{\sigma_{12}} \quad (1)$$

где  $\sigma_{12}$ ,  $\sigma_{13}$  и  $\sigma_{23}$  – поверхностное натяжение на границах раздела газ-жидкость, газ-твердое тело и жидкость-твердое тело.

Однако это уравнение не имеет полного экспериментального подтверждения [4]. Только один параметр  $\sigma_{12}$  может быть экспериментально измерен приближенными методами, что затрудняет применение уравнения (1).

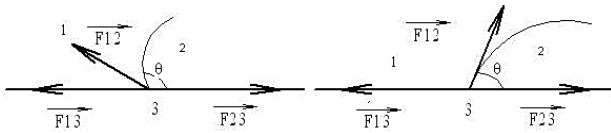


Рис. 1. Равновесие капли жидкости на поверхности твердого тела: а - несмачивающая, б – смачивающая: 1 – газ, 2 – жидкость, 3 – твердое тело

**Результаты исследования.** В механике сплошной среды напряженное состояние в точке представляется тензором напряжений. Величина компонент тензора напряжений определяется действием внешних сил, приложенных к рассматриваемому твердому телу. Равновесие текучих сред предполагает выполнение закона Паскаля: давление, производимое на покоящуюся жидкость или газ, передается в любую точку жидкости или газа одинаково по всем направлениям. В данном случае под давлением следует понимать тензор напряжений с тремя одинаковыми по диагонали компонентами тензора.

Представим напряженное состояние среды в межфазном слое как результат наложения силового поля межмолекулярного взаимодействия на изотропное поле давления. Значение давления (напряжения) в рассматриваемой точке межфазного слоя равно давлению среды при заданном значении удельного объема среды в изотропном состоянии. Тензор напряжений равен сумме двух тензоров: шарового и девиатора напряжений.

$$T_{\sigma} = \begin{bmatrix} \sigma_{xx} & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_{yy} & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_{zz} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sigma & 0 & 0 \\ 0 & \sigma & 0 \\ 0 & 0 & \sigma \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \sigma'_{xx} & 0 & 0 \\ 0 & \sigma'_{yy} & 0 \\ 0 & 0 & \sigma'_{zz} \end{bmatrix}. \quad (2)$$

Шаровый тензор определяет изотропные свойства среды (изотропное давление), т.е. представляет совокупность компонент, формирующих давление, удовлетворяющее закону Паскаля. Девиатор напряжений определяет анизотропные свойства силового поля и обусловлен действием объемных сил [5].

Компоненты тензора напряжений должны удовлетворять соотношениям:

$$\sigma = \frac{\sigma_{xx} + \sigma_{yy} + \sigma_{zz}}{3}; \quad \sigma'_{xx} + \sigma'_{yy} + \sigma'_{zz} = 0. \quad (3)$$

Напряжения, формирующие поверхностные натяжения, представляют собой девиаторные компоненты тензора межфазных напряжений [5]. Сумма нормальных напряжений, создаваемых объемными силами, постоянна в каждой точке межфазного слоя и равна нормальному напряжению в объемной фазе жидкости.

Рассмотрим равновесие жидкой капли на твердой поверхности для межфазного слоя жидкость-твердая фаза (рис. 2) [5]. Каплю жидкости на твердой подложке можно представить в виде сферического сегмента, форма которого определяется значением телесного угла  $\varphi_0$ , равного краевому углу смачивания. По форме сегмента судят о степени смачивания твердой поверхности жидкостью. Сферическая часть поверхности сегмента представляет собой границу раздела жидкой и газовой фаз, а плоская часть является пятном контакта твердой и жидкой фаз. Вдоль этих поверхностей образуются межфазные слои, по толщине которых происходит глобальное изменение параметров состояния среды, одним из которых является нормальное напряжение. Найдем соотношение между нормальными напряжениями, действующими на сферическую и плоскую поверхности, при котором обеспечивается равновесие сферического сегмента жидкости.

Обозначим напряжение на границе раздела жидкой и газовой фаз  $\sigma_{жг}$ , а твердой и жидкой фаз –  $\sigma_{жт}$  (рис. 2). Выделим элемент сферической поверхности, ограниченный углами  $d\varphi$  и  $d\psi$ . Угол  $\varphi$  лежит в плоскости  $ZX$ , а угол  $\psi$  – в плоскости, параллельной  $XY$ . Площадь элемента будет равна:

$$dS = R^2 \sin \varphi d\varphi d\psi \quad (4)$$

Значение элементарной силы  $dF$ , создаваемой давлением  $\sigma_{жг}$  на этой площадке, равно:

$$dF = \sigma_{жг} R^2 \sin \varphi d\varphi d\psi,$$

$$dF = \sigma_{жг} R^2 \sin \varphi d\varphi d\psi, \quad (5)$$

а ее проекция на ось  $Z$ :

$$dF_z = \frac{1}{2} \sigma_{жг} R^2 \sin 2\varphi d\varphi d\psi. \quad (6)$$

Интегрируя значение силы по сферической поверхности, получим:

$$F_z = \frac{1}{2} \sigma_{жг} R^2 \int_0^{\varphi_0} \sin 2\varphi d\varphi \int_0^{2\pi} d\psi = \sigma_{жг} \pi R^2 \sin^2 \varphi_0. \quad (7)$$

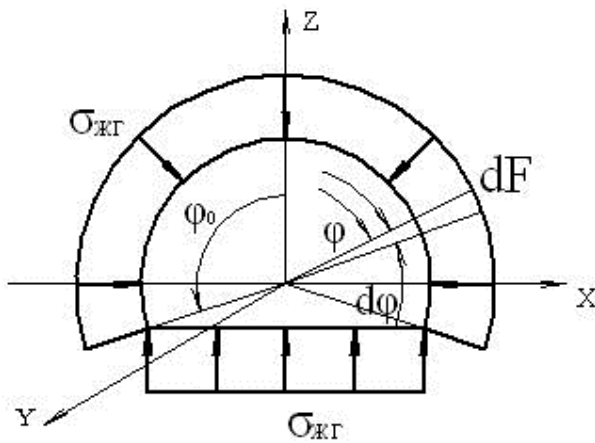


Рис. 2. Схема к расчету равновесия сферического сегмента: ж – жидкость, г – газ, т – твердое тело

Вычисляя значение вертикальной силы, действующей на плоскую часть сегмента, получим:

$$F_z = \sigma_{жст} \pi R^2 \sin^2 \varphi_0. \quad (8)$$

Отсюда следует равенство напряжений, действующих на сферическую и плоскую поверхности сегмента, т.е.  $\sigma_{жг} = \sigma_{жст}$ . Очевидно равенство  $\sigma_{жг} = \sigma_{жст}$  справедливо для каждой точки рассматриваемого межфазного слоя.

В каждой точке межфазного слоя жидкость-газ выполняется условие постоянства нормальных к поверхности слоя напряжений, т.е.  $\sigma_{zz} = const$ .

Для иллюстрации механизма формирования девиаторных компонент тензора напряжений принцип подобия с деформированием цилиндрического образца, напряженное состояние которого также описывается тензором напряжений второго ранга.

В первой строке рис. 3 показано одноосное растяжение-сжатие твердого образца цилиндрической формы. Действие сжимающего напряжения  $\sigma_{zz}$  при наличии контактного трения приводит к искажению формы образца. Образец не остается подобный самому себе и принимает бочкообразную форму (рис. 3, а). При растягивающем напряжении (рис. 3, в) образец деформируется в обратном направлении и принимает форму обратного бочонка. Напряженное состояние, отвечающее этим схемам, может быть представлено следующими значениями компонент тензора напряжений:

$$\sigma = \frac{\sigma_{zz}}{3}; \sigma'_{zz} = \frac{2}{3}\sigma_{zz}; \sigma'_{xx} = \sigma'_{yy} = -\frac{1}{2}\sigma_{zz}. \quad (9)$$

Среднее напряжение  $\sigma$  определяет шаровую часть, а компоненты, обозначенные штрихами, составляют девиатор напряжений. Шаровая часть

тензора удовлетворяет закону Паскаля и может рассматриваться как давление сил отталкивания в жидкости. В соответствии с правилом знаков механики сплошных сред компоненты тензора отвечают деформации растяжения, а для деформации сжатия напряжения будут иметь противоположные знаки.

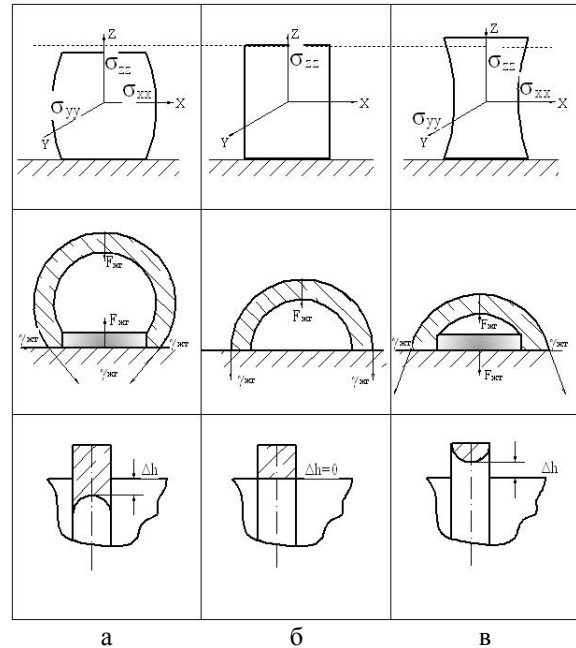


Рис. 3. Аналогия формирования поверхностного натяжения и напряжений при линейном напряженном состоянии:  $\sigma_{xx}, \sigma_{yy}, \sigma_{zz}$  - нормальные компоненты тензора напряжений;  $\gamma_{iy}$  - поверхностное натяжение между фазами;  $F_{ij}$  - объемная сила между фазами

Во второй строке рис. 3 показаны схемы межфазных слоев жидкость-газ и жидкость-твердое, в основу которых положено предположение о формировании поверхностных натяжений девиаторными компонентами тензора межфазных напряжений. При этом наличие в системе твердой или газовой фазы рассматривается как внешнее воздействие, формирующее межфазный слой.

Представлены три случая смачивания твердой поверхности жидкостью: ограниченное, равновесное и частичное смачивание. Очевидно, что степень смачивания определяется соотношением между адгезионными (силы притяжения молекул жидкости и твердого) и когезионными (силы молекулярного притяжения в жидкости) силами. Каждому уровню смачивания отвечает определенная точка или участок изотермы Ван-дер-Ваальса, протяженностью которого определяется толщина соответствующего межфазного слоя.

Полному несмачиванию соответствует краевой угол смачивания  $\theta = \pi$ . При этом силы адгезии равны нулю, т.е. отсутствует межмолекулярное

взаимодействие жидкой и твердой фаз. Толщина межфазного слоя максимальна и равна толщине слоя жидкость-газ.

При ограниченном смачивании  $\pi > \theta \cdot \pi/2$  когезионные силы больше адгезионных, объемная сила в каждой точке межфазного слоя направлена в сторону объемной фазы жидкости, что эквивалентно дополнительному сжатию межфазного слоя. Этому случаю отвечает рис. 3, а.

При равновесном смачивании  $\theta = 2\pi$  (рис. 3, б) силы адгезии равны силам когезии, в связи с чем объемная сила не возникает, а твердая фаза не вносит возмущения в жидкость. При этом межфазный слой неформируется, т.е. его толщина равна нулю.

При частичном смачивании  $\pi/2 > \theta > 0$  (рис. 3, в) силы адгезии больше сил когезии, объемная сила направлена в сторону твердой поверхности, а межфазный слой испытывает растягивающее воздействие.

В третьей строке рис. 3 показано возникновение капиллярного эффекта, который можно наблюдать в тонких трубках, для трех случаев: ограниченное смачивание (рис. 3, а), равновесное смачивание (рис. 3, б) и частичное смачивание (рис. 3, в).

Рассмотренные рассуждения применимы при решении задач пропитки порошковых материалов для получения изделий с заданными свойствами. Краевой угол смачивания при этом колеблется в пределах 45-60°.

При введении полимерных добавок в бетонную смесь, наоборот, наблюдается явление близкое к несмачиванию. Краевой угол смачивается находится в интервале 106-110°. Этим объясняются гидрофобные свойства полиэтилена, полиэтилентерефталата.

**Выводы.** Установлено, что причиной возникновения поверхностного натяжения жидкость-твердое тело является наличие девиаторных компонент тензора межфазных напряжений на основании принципа аналогии с деформированием твердого цилиндрического образца. Предложены условия смачивания и несмачивания поверхности твердого тела с учетом соотношения сил адгезии и когезии. Показано возникновения капиллярного эффекта при различных условиях смачивания твердого тела. Именно наличие капиллярного эффекта обуславливает пропитку порошкового материала и цементного геля. Полное несмачивание обеспечивает гидрофобность полимерных материалов.

#### Л и т е р а т у р а

1. Радомысльский И.Д., Сердюк Г.Г., Щербань Н.И. Конструкционные порошковые материалы. К.: Техника, 1985. 286 с.
2. Рыбьев И. А. Строительные материалы на основе вяжущих веществ. -М.: ВШ, 1979.-309 с.

3. Миронюк А.В., Придатко А. В., Сиволапов П. В., Свидерский В. А. особенности оценки смачивания полимерных поверхностей Восточно-Европейский журнал передовых технологий 2014

4. Глаголев К.В., Морозов А.Н. Физическая термодинамика. – Т. 2. Явления на границе раздела газа, жидкости и твердого тела / Электронный учебник МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002, [Электронный ресурс]. – URL: <http://fn.bmstu.ru/phys/bib/physbook/tom2/> (дата обращения: 19.10.2012).

5. Готовцев В.М., Румянцев А.Н. Межфазный слой жидкость-газ с позиций теории Ван-дер-Ваальса // Фундаментальные исследования. – 2013. – №11 (ч. 7). – С. 1338-1343.

6. Готовцев В.М., Шатунов А.Г., Румянцев А.Н., Сухов В.д. Механизм формирования межфазных напряжений // Современные наукоемкие технологии. – 2012. – № 11. – С. 45-494.

7. Иголкин С.И. Критический анализ опытов по измерению углов смачивания и сил поверхностного натяжения // Прикладная физика. – 2007. – №4. – С. 43 – 52.5. Сумм Б.д. Гистерезис смачивания // Соросовский образовательный журнал. – 1999. – №7. – С. 98 – 102.

#### References

1. Radomyselskiy I.D., Serdyuk G.G., Shcherban N.I. Konstruktivnyye poroshkovyye materialy. K.: Tekhnika. 1985. 286 s.
2. Rybyev I. A. Stroitelnyye materialy na osnove vyazhushchikh veshchestv. -M.: VSh. 1979.-309 s.
3. Mironyuk A.V., Pridatko A. V., Sivolapov P. V., Sviderskiy V. A. osobnosti otsenki smachivaniya polimernykh poverkhnostey Vostochno-Evropeyskiy zhurnal peredovykh tekhnologiy 2014.
4. Glagolev K.V., Morozov A.N. Fizicheskaya termodinamika. – T. 2. Yavleniya na granitse razdela gaza, zhidkosti itverdogo tela / Elektronnyy uchebnyk MG TU im. N.E. Bauman. 2002. [Elektronnyy resurs]. – URL: <http://fn.bmstu.ru/phys/bib/physbook/tom2/> (data obrashcheniya: 19.10.2012).
5. Gotovtsev V.M., Rumyantsev A.N. Mezhfaznyy sloy zhidkost-gaz s pozitsiy teorii Van-der-Vaalsa // Fundamentalnyye issledovaniya. – 2013. – №11 (ch. 7). – S. 1338-1343.
6. Gotovtsev V.M., Shatunov A.G., Rumyantsev A.N., Sukhov V.d. Mekhanizm formirovaniya mezhfaznykh napryazheniy // Sovremennyye naukoemye tekhnologii. – 2012. – № 11. – S. 45-494.
7. Igolkin S.I. Kriticheskiy analiz opytov po izmereniyu uglov smachivaniya i sil poverkhnostnogo natyazheniya // Prikladnaya fizika. – 2007. – №4. – S. 43 – 52.5. Summ B.d. Gisterezis smachivaniya // Sorosovskiy obrazovatelnyy zhurnal. – 1999. – №7. – S. 98

**Ryabicheva L.A., Skachko N.A.**

#### THE ROLE OF WETTING IN DEVELOPMENT OF COMPOSITE MATERIALS

*The investigation of hard phase wetting process for composite materials with surfaces of different properties has performed. It has established that the reason for appearing the liquid-solid interfacial tension is the existence of deviatoric components of the interfacial stress tensor on the basis of similarity law to a solid cylindrical sample deformation. Conditions of hard body surface wetting and nonwetting have proposed while taking into account the adhesion and cohesion*

*forces ratio. It has shown clearly the origination of capillary effect at various wetting conditions of a solid body. The capillary effect causes impregnation of powder material and cement gel. The complete unwettability leads to hydrophobic behavior of polymer materials.*

**Keywords:** *wetting, unwettability, hard phase, liquid, interfacial tension, stress, adhesion, cohesion.*

**Рябичева Людмила Александровна** – доктор технических наук, профессор, заведующая кафедрой материаловедения и строительства Луганского национального университета имени Владимира Даля, г. Луганск.

**E-mail:** ryabic@gmail.com

**Ryabicheva Lyudmila** – D.Sc (Eng), Associate Professor, Head of the Material and Civil Engineering

Department, Vladimir Dalh Lugansk National University.

**E-mail:** ryabic@gmail.com

**Скачко Николай Александрович** – старший преподаватель кафедры городского строительства и хозяйства Луганского национального университета имени Владимира Даля, г. Луганск  
e-mail: Skachko\_Nikolai@mail.ru

**Skachko Nikolai** - senator teacher Civil Engineering Department, Vladimir Dalh Lugansk National University, c. Lugansk.

**Рецензент: Коваленко А.А.**, к.т.н., профессор Луганского национального университета имени Владимира Даля.

*Статья подана 25.11.2017*

УДК 519.71

## ПРЕДПРИЯТИЕ ОТКРЫТОЙ УГЛЕДОБЫЧИ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ РЫНОЧНОЙ ЭКОНОМИКИ

Косоногова Л.Г., Шилов В.Ю.

## ENTERPRISE OF OPEN COAL MINING IN COLLECTIONS OF MODERN MARKET ECONOMY

Kosonogova L.G., Shilov V.Y.

*Рассмотрены актуальные методы самоорганизации системы углепроизводства, базирующиеся на изменении структуры предприятия необходимые для перестройки под изменчивые условия рыночной экономики, устранения причин ограничения его жизнеспособности на всех уровнях логистической системы.*

**Ключевые слова:** углепроизводство, самоорганизация, система, научно-методическая база, структура.

**Введение.** Стратегическое значение угольной промышленности требует перестройки предприятий угледобычи, разработки и внедрение новых технологических средств и решений, обеспечивающих конкурентоспособность в современных рыночных условиях. Одной из основных тенденций является постоянное стремление к более точному количественному описанию исследуемых объектов.

Одним из наиболее трудоёмких и дорогостоящих процессов при разработке месторождений открытым способом является транспортирование горной массы. В этом процессе занято до половины работников предприятия, а транспортные затраты составляют свыше половины общих затрат на добычу полезных ископаемых.

Рост грузоподъемности транспортных средств, что является сейчас основной тенденцией развития карьерного автотранспорта, не сопровождается, однако соответствующим ростом эксплуатационной производительности карьерных самосвалов, потому что показатели, во многом определяющие её, растут не так интенсивно, как средняя грузоподъемность [1].

Адаптация предприятий открытой угледобычи к новым условиям и целевой функции посредством оптимизации и регулирования параметров основных систем предприятия без изменения их структур не дала стабилизацию и незначительный рост объемов добычи угля, кризисные явления, обусловленные структурным несоответствием предприятия новым

условиям хозяйствования, сохраняются. Поэтому для преодоления этих явлений и обеспечения жизнеспособности предприятия закономерным является его переход к управляемой самоорганизации.

Ключевым направлением при этом является разработка и обоснование концепции и методологии управления процессом самоорганизации предприятия [5].

**Научные основы организации горного производства.** Методы повышения эффективности горнодобывающих предприятий разработаны в трудах Ю.Н. Анистратова, С.В. Корнилкова, В.Л. Яковлева, С.А. Ильина, В.С. Коваленко, В.С. Хорякова, Н.Я. Лобанова и других. [4,6]

В стабильных условиях централизованной плановой экономики достижение установленных целей обеспечивалось оптимизацией и регулированием основных систем угледобывающего предприятия на основе применения механизма параметрической адаптации.

Кардинальное изменение социально-экономических отношений изменило функцию предприятия и среду его функционирования. Целевой функцией предприятия стала генерация доходов на основе эффективного участия в системе рыночных отношений.

Адаптация предприятий открытой угледобычи к новым условиям с использованием параметрического механизма в качестве доминирующего оказалась неэффективной. В результате реформирование угольной промышленности сопровождалось кризисными явлениями, проявившимися в спаде производства и росте социальной напряженности. Потребовались значительные усилия и социальные издержки для приостановления спада и стабилизации углепроизводства.

Однако достигнутый уровень эффективности не позволяет предприятиям открытой угледобычи успешно конкурировать на рынке энергоносителей,

осуществлять воспроизводство и развитие своего потенциала. Высокая инерционность организационной и технологической систем предприятия, сформированных для условий стабильного спроса, негативно сказывается на эффективности работы предприятий в условиях рыночной экономики. Очевидно, что без изменения структуры систем предприятий в целом невозможно говорить об жизнеспособности в таких условиях. В данной ситуации наиболее целесообразным является переход предприятий к управляемой самоорганизации.

Самоорганизация предприятий открытой угледобычи — это процесс самостоятельного и целенаправленного изменения структуры организационной и технологической систем и предприятия в целом для достижения определенного уровня его жизнеспособности и эффективности [5].

В работах А.С.Галкина, А.Е. Евтушенко, В.Е.Зайденварга, Г.И. Козового, Г.Л. Краскянского, В.И. Кузнецова, Ю.Н. Мальшева, М.И. Щадова, А.Б. Яновского и других исследователей создана база реструктуризации угольного производства и методологические основы адаптации предприятий: теория кибернетических адаптивных систем- при обосновании использования концепции самоорганизации; математическая теория систем-при формализации задачи определения алгоритма самоорганизации; методы математического моделирования реакции производственно-технологической системы на изменение рыночного спроса; методы горно-геометрического анализа; компьютерное имитационное моделирование- при исследовании модели функционирования угольного разреза в синхронно с рыночным спросом в режиме; методы анализа случайных процессов и теория динамических систем- при анализе инерционных свойств организационной и технологической системы предприятия.

Принципиальным отличием данного механизма является построение и непрерывное изменение субъектом управления модели объекта управления во взаимодействии с окружающей средой. Используя моделирование, субъект управления получает возможность прогнозирования и опережающего изменения не только параметров, но и структуры управляемого объекта посредством перехода к более совершенным технологиям производства и создания новых организационных механизмов.

Необходимость изменения структуры возникает в случае, если подбор параметров в рамках используемых технологий и организационных механизмов предприятия не позволяет обеспечить требуемый уровень его жизнеспособности и эффективности.

Изменение механизмов и параметров, определяющих качество и скорость подстройки параметров и структуры процессов обмена в

соответствии с динамикой природной и рыночной среды. Изменение механизмов обмена с природной и рыночной средой, обеспечивающих повышение производительности используемых природных ресурсов, капитала, труда. Изменение механизмов и условий воспроизводства факторов производства (капитал, труд, информация, техно-структура) [3.2].

Показатели динамичности реакции на изменение рынка. Характерное время реакции к устойчивости процессов и алгоритмов к неопределенности будущих значений состояний среды. Инвестиционный риск.

Для обеспечения конкурентоспособности предприятий открытой угледобычи принципиальное значение имеет точность соблюдения согласованных с потребителями сроков поставки углепродуктов. В условиях воздействия факторов вариабельности внешней среды на процессы углепроизводства неизбежно возникают сбои, которые должны быть компенсированы координацией производственных процессов на всех организационных уровнях логистической системы [1].

**Выводы.** Разработка и развитие теоретических основ, научно-методической базы управления процессом и разработка организационных методов эффективной самоорганизации предприятий открытой угледобычи, а также технологических решений, обеспечивают их адаптацию и устойчивое развитие, приобретает особую актуальность.

Обоснованно применительно к предприятиям открытой угледобычи понятие самоорганизации как процесса самостоятельного моделирования взаимодействия с внешней средой и целенаправленного изменения структуры организационной и технологической систем и предприятия в целом для достижения определения уровня его жизнеспособности и эффективности.

Одним из вариантов решения задач является эффективное управление самоорганизацией предприятия, которое позволяет изменять структуру и в соответствии с изменчивостью рыночной среды в углепроизводстве в 3,0-3.5 раза [7].

#### Л и т е р а т у р а

1. Михайличенко В.В Концептуальные направления технологической политики угледобывающей отрасли при переходе к устойчивому развитию//Экологические проблемы угледобывающей отрасли в регионе при переходе к устойчивому развитию: Тр. Междунар. На уч.-практ. конф. – Кемерово: Кузбассвуиздат, 1999. –С.78-89.
2. Нецветаев А. Г., Михайличенко В.В., Рубаник Ю.Т., Хотин безопасность России. Новые подходы к развитию угольной промышленности.
3. Михайличенко В.В., Якутов В.В, Дерябина Р.М. Системная оптимизация производственно-технологической цепи как необходимое условие обеспечения конкурентоспособности горного предприятия //Энергетическая безопасность России. Новые подходы к развитию угольной промышленности:

Тр. междунар. науч.-практ. конф./ ИУУ СО РАН, КузГТУ, ЗАО «Экспо-Сибирь».- Кемерово, 1999.-С. 65-68.

4. Михайличенко В.В., Рубаник Ю.Т., Хотиский А.М. Синхронизация работы предприятия открытой угольной добычи с динамикой рыночного спроса- Кемерово: Кузбассвуиздат, 2000.- 176 с.

5. Михайличенко В.В., Прокопенко С.А. Экологически чистые технологии- будущее открытой угольной добычи в Кузбассе//Уголь. -1992. -№1.-С. 11-14.

6. Михайличенко В.В. Метод структурирования функций качества как инструмент системного анализа тенденций и противоречий при решении проблемы экологизации открытых горных работ /Горн, инф.-аналит. бюл./МГТУ. -1996.-№3.-С. 74-79.

### References

1. Mikhailychenko V.V Conceptual directions of the technological policy of the coal mining industry in the transition to sustainable development // Environmental problems of the coal mining industry in the region in the transition to sustainable development: Tr. Intern. At the uch.-prakt. Conf. - Kemerovo: Kuzbassvuzizdat, 1999. -С.78-89.

2. Netsvetaev A.G, Mikhailichenko V.V, Rubanik Y.T., Khotin Russian Security. New approaches to the development of the coal industry.

3. Mikhailychenko V.V., Yakutov V.V., Deryabina R.M. System optimization of the production and technological chain as a prerequisite for ensuring the competitiveness of a mining enterprise // Energy Security of Russia. New approaches to the development of the coal industry: Tr. Intern. scientific-practical. Conf. / UIU SB RAS, KuzGTU, ZAO "Expo-Siberia" .- Kemerovo, 1999.- С. 65-68.

4. Mikhailychenko V.V., Rubanik Y.T., Khotysky A.M. Synchronization of the work of an open coal mining enterprise with the dynamics of market demand- Kemerovo: Kuzbassvuzizdat, 2000.- 176 p.

5. Mikhaylichenko V.V., Prokopenko S.A. Ecologically clean technologies - the future of open coal mining in the Kuzbass // Coal. -1992. -№1.-С. 11-14.

6. Mikhailychenko V.V. The method of structuring quality functions as an instrument of systematic analysis of trends and contradictions in solving the problem of greening

and open-gork works / Horn, inf.-analit. BUL / MSTU. - 1996.-№3.-С. 74-79.

**Kosonogova L.G., Shilov.V.Y**

### ENTERPRISE OF OPEN COAL MINING IN COLLECTIONS OF MODERN MARKET ECONOMY

*The actual methods of self-organization of the coal production system are considered, based on the change in the structure of the enterprise necessary for restructuring under the changing conditions of a market economy, eliminating the reasons for limiting its viability at all levels of the logistical system.*

**Keywords:** coal production, self-organization, system, scientific and methodological base, structure.

**Косоногова Лариса Георгиевна**, кандидат

технических наук, доцент кафедры транспортных систем Луганского национального университета им. Владимира Даля.

**E-mail:** arbela@mail.ru.

**Kosonogova Larisa Georgievna**, candidate of technical

Sciences, associate Professor of the transport systems of the Lugansk national University Vladimir Dahl.

**E-mail:** arbela@mail.ru.

**Шилов Владислав Юрьевич**, студент ЛНУ им. В.

Даля, группы Т-441, кафедры «транспортные системы»

**Shilov Vladislav Yurievich**, a student of the Lugansk national University V. Dahl, group T441, the department "transport systems".

**E-mail:** Shiloff.v8@gmail.com

**Рецензент: Кущенко А.В.** к.т.н., доц. кафедра ТЛ, Луганского национального университета им. Владимира Даля.

*Статья подана 29.11.2017*



УДК 532.529

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЕРТИКАЛЬНЫХ ДВУХФАЗНЫХ ТЕЧЕНИЙ В АЭРОТЕНКАХ С ПНЕМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМОЙ АЭРАЦИИ

Недопекин Ф.В., Лучина А.Ю.

## INVESTIGATION OF VERTICAL TWO-PHASE FLOWS IN AEROTENKS WITH THE PNEUMATIC SYSTEM OF AERATION

Nedopekin F.V., Luchyna A.Y.

*В настоящей работе рассмотрена проблема интенсификации процесса биологической очистки бытовых сточных вод. Построены математические модели гидродинамических процессов, протекающих в аэротенке с затопленной эрлифтной колонной, без учета и с учетом газовой фазы в турбулентном газожидкостном потоке. В ходе численного эксперимента с помощью пакета прикладных программ Ansys Fluent 17.2 была выявлена вихревая структура с восходящими потоками в области колонны и нисходящими в свободной части аэротенка, получены скалярные и векторные поля скоростей.*

**Ключевые слова:** биологическая очистка, аэротенк, пневматическая аэрация, гидродинамическая обстановка, двухфазное течение.

**Введение.** Для поддержания аэробных процессов в сооружениях биологической очистки могут использоваться различные аэрационные системы. На сегодняшний день наибольшее распространение получили пневматические и механические системы аэрации [1]. Для аэротенков шахтного типа глубиной свыше 5 м наиболее надежными являются системы аэрации на основе диспергаторов, расположенных в глубине бассейна. Воздух, подаваемый через диспергаторы, распространяется в виде пузырей при свободном подъеме в сточной воде. При этом обеспечивается не только питание кислородом микроорганизмов в процессе их жизнедеятельности, но и создание циркуляционных потоков в бассейне.

Гидродинамические процессы, происходящие в бассейне, в значительной степени определяются его геометрическими параметрами (размерами, формой и объемом), уровнем воды над системой аэрации и расположением системы аэрации в бассейне.

Циркуляция сточной воды в бассейне позволяет:

1) поддерживать во взвешенном состоянии твердые частицы (микроорганизмы активного ила

или микроносители) и таким образом обеспечивать необходимый контакт между ними и субстратом.

2) обеспечивать массообмен путем передачи кислорода воздуха в сточную воду для питания микроорганизмов [2].

Изучение циркуляционных процессов и процессов массопереноса кислорода в аэрируемых бассейнах необходимо для обеспечения оптимальных условий биологической очистки сточных вод, содержащих органические загрязнения.

Воздействуя на газогидродинамику с помощью пневматических устройств или изменяя зоны циркуляции в аэротенке, возможно создать оптимальную гидродинамическую обстановку, обеспечивающую равномерную концентрацию активного ила, и, следовательно, достигнуть максимальной окислительной мощности аэротенка.

Под интенсификацией понимается не только повышение окислительной мощности, но и повышение эффекта или глубины очистки сточных вод. А также значительно сократить затраты на обработку единицы объема очищаемой жидкости, поскольку системы аэрации являются наиболее энергоемкой частью сооружений биологической очистки, т.е. около 60-80% энергозатрат станций биологической очистки приходится на долю систем аэрации [3].

**Целью настоящей работы** является разработка математической модели движения газожидкостного потока в аэротенке с учетом влияния газовой фазы.

На двухъярусных аэротенках-отстойниках была предпринята попытка переоборудования данного узла технологической схемы в аэротенк-отстойник шахтного типа с установленной эрлифтной колонной в его центральной части [4,5]. Исследования проводились на очистных сооружениях пгт. Новый Свет Донецкой области общей производительностью 6 тыс м<sup>3</sup>/сутки при

очистке хозяйственно-бытовых сточных вод. Основная часть реактора, где происходит микробиологическая очистка сточных вод, представляет собой цилиндр-стакан диаметром 8 м и глубиной 8 м, который расположен в земле и заполнен сточной водой и активным илом. Внутри цилиндра-стакана (в центральной части аэротенка) расположена затопленная аэрационно-циркуляционная колонна (рис. 1).

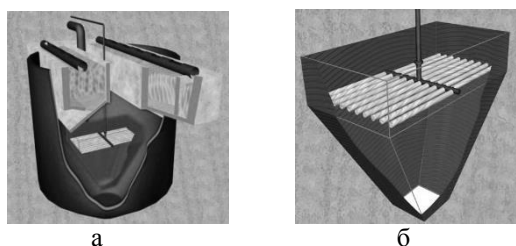


Рис. 1. а) общий вид реактора; б) аэрационно-циркуляционная колонна.

Колонна состоит из двух частей: верхней прямоугольной и нижней – в виде равносторонней трапеции. На границе нижней и верхней частей колонны на глубине 4,8 м располагается диспергирующий элемент воздуха – аэрационная система из тканевых аэраторов трубчатой конструкции диаметром 100 мм, которая обеспечивает замкнутую вертикальную циркуляцию потока жидкости в аэротенке и растворение кислорода в жидкости.

Скорость замкнутой циркуляции и концентрация кислорода в аэротенке напрямую зависят от количества вводимого в эрлифт воздуха. В период эксперимента подача воздуха в аэрационную колонну варьировалась в пределах 100-200 м<sup>3</sup>/час, что обеспечивало достижение необходимых скоростей восходящего и нисходящего потоков (1,2 м/с – внутри колонны и 0,3 м/с – в области за колонной).

Двухфазные течения подчиняются всем основным законам гидродинамики, однако уравнения более сложны и многочисленны [6]. Кроме того, уравнения движения для двухфазных течений являются незамкнутыми, и важной задачей при математическом моделировании является выбор дополнительных соотношений. Анализируя существующие методы расчета двухфазных потоков, можно отметить, что они опираются на обширный экспериментальный материал. Это и не удивительно, учитывая многообразие режимов течения двухфазной смеси.

Встречающиеся на практике режимы течения газожидкостных смесей в каналах можно разделить на виды в зависимости от объемной концентрации легкой фазы. По мере увеличения объемной концентрации газа наиболее распространенные виды течений, с которыми сталкиваются в вертикальном потоке, показаны на рис. 2:

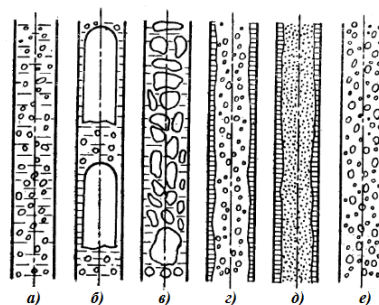


Рис. 2. Схема режимов течения двухфазного потока внутри вертикального канала: а) пузырьковый; б) снарядный; в) эмульсионный; г) дисперсно-кольцевой; д) кольцевой; е) дисперсный

Введем понятие объемной концентрации легкой фазы – это доля объема смеси, занимаемая газом. Рассмотрим поперечное сечение колонны, тогда средняя объемная концентрация легкой фазы

будет определяться выражением  $\varphi = \frac{S_1}{S}$ , где  $S_1$  –

площадь поперечного сечения, занимаемая газом,  $S$  – площадь поперечного сечения колонны. Значение  $\varphi$  необходимо для определения веса вертикального столба двухфазной жидкости для анализа силового воздействия потока со стенкой колонны. Тогда средняя концентрация жидкой фазы будет определяться выражением  $(1-\varphi)$ . Плотность газожидкостной смеси запишется в виде:  $\rho_{см} = \rho_г\varphi + \rho_ж(1-\varphi)$  [6].

Пузырьковый режим существует при объемной концентрации газа  $\varphi < 0,2-0,3$ . При больших концентрациях происходит слияние пузырьков с образованием пузырей снарядообразной формы, занимающих почти все поперечное сечение колонны. Таким образом, пузырьковый режим переходит в снарядный. Если средняя скорость газовой фазы достаточно велика  $\langle v \rangle = 5-10$  м/с, то снарядная структура потока становится неустойчивой; на стенке колонны появляется пленка жидкости, а ядро потока имеет пенообразную структуру.

По экспериментальным данным [7], при интенсивности аэрирования  $J_{кр} \leq 0,03$  м/с (108 м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>·ч) в эрлифтной колонне наблюдается пузырьковый режим движения водовоздушной смеси. Пузырьковый режим характеризуется движением газовой фазы в виде отдельных малых по сравнению с размерами эрлифтной колонны пузырьков газа. При повышении интенсивности аэрации более  $J_{кр} = 0,03$  м/с наблюдается переход в снарядный режим движения газовой фазы. Снарядный режим характеризуется периодическим прохождением больших цилиндрических пузырей,

диаметр которых соизмерим с диаметром эрлифтной колонны, а длина может быть во много раз больше.

Переход в снарядный режим движения газожидкостной смеси в эрлифтной колонне сопровождается снижением средней скорости всплывания пузырьков воздуха и увеличением значения коэффициента газосодержания и относительного увеличения коэффициента кинематической вязкости [7].

На рис. 3 схематически представлены порядок смены режимов в зависимости от скорости жидкости и газа.



Рис. 3. Смена режимов течения двухфазных потоков в каналах

Для определений соотношений циркуляционных потоков предлагается математическая модель, позволяющая определить поле скоростей в зависимости от геометрических параметров, глубины расположения циркуляционной колонны в объеме сооружения, наполненной жидкостью, в зависимости от количества вносимого воздуха.

**Математическая модель движения жидкости без учета газовой фазы.** Для этого рассматривается цилиндрическая область, соответствующая геометрическим параметрам внешнего объема, заполненного водой. В этот объем устанавливается конусообразная колонна, жидкость в которой отделена от жидкости в объеме боковыми гранями.

При решении данной задачи предполагается:

- процесс стационарный и установившийся;
- жидкость изотермическая и несжимаемая;
- физические характеристики считаются однородными и изотропными;
- деформацией свободной поверхности можно пренебречь;
- процессы в установке считаются симметричными относительно оси;
- толщины стенок циркуляционной колонны считаются бесконечно малыми;
- расположение диспергирующих элементов воздуха равномерное по поперечному сечению аэрационной колонны.
- химические реакции не учитываются [5].

Гидродинамические процессы в системе аэротенк – аэрационная колонна описываются

уравнениями Навье-Стокса и неразрывности в цилиндрической системе координат.

Для двумерных осесимметричных геометрий уравнения сохранения осевого и радиального импульсов жидкости даются системой уравнений:

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t} v_{1z} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial z} (rv_{1z}v_{1z}) + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (rv_{1r}v_{1z}) = \\ = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial z} (r\mu_{\text{эф}} \nabla v_1) + \\ + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r\mu_{\text{эф}} \left( \frac{\partial v_{1z}}{\partial r} + \frac{\partial v_{1r}}{\partial z} \right) \right), \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t} v_{1r} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial z} (rv_{1z}v_{1r}) + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (rv_{1r}v_{1r}) = \\ = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial z} \left( r\mu_{\text{эф}} \left( \frac{\partial v_{1r}}{\partial z} + \frac{\partial v_{1z}}{\partial r} \right) \right) + \\ + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (r\mu_{\text{эф}} \nabla v_1), \end{aligned} \quad (2)$$

$$\frac{\partial v_{1r}}{\partial r} + \frac{\partial v_{1z}}{\partial z} + \frac{v_{1r}}{r} = 0, \quad (3)$$

где  $\mu_{\text{эф}} = \mu + \mu_t$  – ламинарная и турбулентная вязкости.

А также уравнениями стандартной k-ε-модели турбулентности (для транспорта кинетической энергии турбулентности и диссипации турбулентности).

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t} (pk) + \frac{\partial}{\partial x_i} (pk u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + \\ + G_k + G_b + p\varepsilon - Y_M + S_k, \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t} (p\varepsilon) + \frac{\partial}{\partial x_i} (p\varepsilon u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + \\ + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} (G_k + C_{3\varepsilon} G_b) - C_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{k} + S_\varepsilon, \end{aligned} \quad (5)$$

где  $\mu_t$  – турбулентная (или вихревая) вязкость,

которая находится как  $\mu_t = \rho C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon}$ .

В данной системе уравнений  $G_k$  представляет турбулентную кинетическую энергию, образованную от средних градиентов скорости;  $G_b$  – кинетическая энергия выталкивающей силы;  $Y_M$  – вклад переменного расширения при турбулентности сжатия в общую скорость диссипации;  $C_{3\varepsilon}$  – константа, определяющая степень воздействия

выталкивающей силы на  $\varepsilon$ . Остальные константы определены из экспериментов для фундаментальных турбулентных жидкостей и имеют следующие значения  $C_{1\varepsilon} = 1,44$ ,  $C_{2\varepsilon} = 1,92$ ,  $C_\mu = 0,09$ ,  $\sigma_k = 1,44$ ,  $\sigma_\varepsilon = 1,3$ . Стандартная  $k$ - $\varepsilon$ -модель достаточно точна и эффективна при решении задач для смесей и применении стандартных стеночных функций [8].

Система уравнений дополняется начальными и граничными условиями. На нижней и боковых границах расчетной области использовалось условие прилипания:  $\vec{v} = 0$ . На верхней границе расчетной области выполняется условие скольжения:  $\vec{v} \times \vec{n} = 0$ .

**Математическая модель двухфазного течения.** Для учета газовой фазы в объеме жидкости и определения скорости всплытия газовых пузырьков рассмотрим динамические характеристики движущегося пузырька. При изотермическом всплывании в жидкости сферического пузырька постоянной массы на пузырек действуют три силы: подъемная (Архимеда), сила сопротивления среды и сила тяжести.

Масса газа, плотность жидкости и ускорение свободного падения являются постоянными параметрами. Остальные параметры переменные величины, прямо или косвенно зависящими от скорости всплывания пузырька. Силу сопротивления среды в общем случае находят по закону Ньютона.

Таким образом, при учете влияния пузырьков воздуха на характер движения газожидкостной смеси система уравнений (1)-(3) дополняется следующими уравнениями движения пузырьков газа и относительной скорости:

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{1}{r} \frac{\partial (v_{2r} r N)}{\partial r} + \frac{\partial (v_{2z} N)}{\partial z} = f_N, \quad (6)$$

$$v_{2r} = v_{1r} + v_{21r}; \quad v_{2z} = v_{1z} + v_{21z}, \quad (7)$$

где  $v_{1r}, v_{1z}, v_{21r}, v_{21z}, v_{2r}, v_{2z}$  – проекции на оси  $r$  и  $z$  векторов скорости течения жидкости, скорости движения газовой фазы относительно жидкости и скорости переноса газовой фазы в объеме азотенка;  $p$  – давление, Па;  $\rho$  – плотность жидкости,  $\text{кг/м}^3$ ,  $N$  – количество пузырей в единице объема,  $1/\text{м}^3$ .

Интенсивность образования дисперсной газовой фазы определяется следующим образом:

$$f_N = \frac{Q}{\frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r^3 \cdot V_N}, \quad (8)$$

где  $Q$  – объемный расход газа;  $r$  – радиус пузырька;  $V_N$  – объем зоны, в которую поступает газ. Для области вне зоны попадания пузырьков  $f_N = 0$  [9].

Взаимодействие жидкой и газовой фаз описывается для радиальной и осевой компоненты скорости жидкости источником членом вида  $-\frac{1}{\rho} F_{12r}$  и  $-\frac{1}{\rho} F_{12z}$ . Приведенная сила трения  $\vec{F}_{12}$  может быть определена из соотношения:

$$\vec{F}_{12} = N C_\mu S \frac{\rho_1 v_{12}^2}{2 v_{12}} \vec{v}_{12}, \quad (9)$$

здесь  $C_\mu$  – коэффициент гидродинамического сопротивления;  $S$  – площадь поперечного сечения пузырька;  $\vec{v}_{12} = -v_{21} \frac{\vec{g}}{g}$  [9].

Такая модель позволяет учитывать разность скоростей жидкой и газовой фаз, и предполагает использование стационарной формы, размеров и скорости газовых пузырей, что вполне допустимо в азотенках с пневматической системой аэрации.

Гидродинамическая обстановка в модели азотенка при центральном расположении мелкопузырчатого азотатора у дна азотенка характеризуется двумя контурами циркуляции с вращением по часовой и против часовой стрелки (рис. 4).

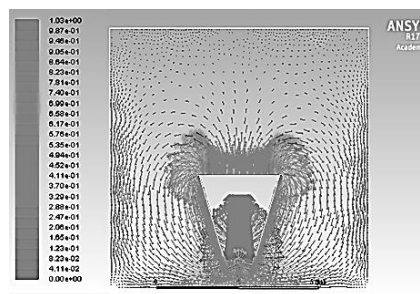


Рис. 4. Векторное поле скоростей в системе аэрационная колонна – азотенка, полученное в пакете программ ANSYS Fluent 17.2

На рис.4. наблюдается: 1) зона восходящих потоков, находящихся вблизи колонны и обусловленных активной подачей из диспергатора воздушных масс; 2) зона нисходящих потоков, которые находятся на расстоянии 4-5 диаметров колонны; 3) застойные зоны в углах азотенка и центральной части внешнего потока, где отсутствует перемешивание и вовлечение активного ила в поток.

Газожидкостная смесь наиболее турбулизирована на выходе из колонны, т.о. насыщение активного ила кислородом происходит более интенсивно в первой зоне. Затем воздух, частично растворившийся в воде и частично

вышедший в окружающую среду, не насыщает углы системы, отдаленные от ее центра и от аэрационно-циркуляционной колонны.

**Выводы.** Эффективность пневматических систем аэрации биореакторов зависит от продолжительности контакта пузырьков воздуха с жидкостью. Построенная модель позволяет определить гидродинамические параметры потока жидкости в аэротенке, а также интенсивность аэрации для обеспечения необходимых скоростей на входе в аэрационно-циркуляционную колонну. Таким образом, полученные расчетные данные можно переносить на промышленные очистные сооружения биологической очистки сточных вод.

### Л и т е р а т у р а

1. Нездойминов В. И. Гидродинамическая модель работы аэротенка с затопленной эрлифтной системой аэрации [Текст] / В.И. Нездойминов, В.С. Рожков // Коммунальное хозяйство городов, 2010, № 93. – С. 353–358.

2. Пронин А.А. Гидродинамика и массопередача кислорода в аэрационных сооружениях: автореф. дис. на соискание ученой степени кандидата технических наук. ВНИИБП РАСХН Московский институт коммунального хозяйства и строительства, Москва, 2005.

3. Казаков В.Д. Оценка эффективности работы станции биологической очистки канализационных очистных сооружений г. Саянска / В.Д. Казаков, Н.Д. Пельменёва, В.Д. Можаяев // Вестник ИрГТУ, 2011 №12 (59). – С.123–127.

4. Нездойминов В. И. Математическая модель распределения циркуляционных потоков жидкости в шахтных аэротенках с пневматической аэрацией / В.И. Нездойминов, М.В. Бескровная, В.В. Белоусов // Математичне моделювання. 2007, № 1 (16). – С. 109–113.

5. Bezdrovna, M. Recommendation of sewage treatment facilities and improvement of their efficiency / M. Bezdrovna, O. Kazak, A. Luchyna // Interdisciplinary Integration of Science in Technology, Education and Economy. Monograph: edited by Shalapko J. and Zoltowski B. Poland, 2013. – P. 122-127.

6. Ключев Н.И., Соловьева Е.А. Математические модели двухфазных течений: Учебное пособие. – Самара: Изд-во «Самарский университет», 2010. – 51с.

7. Максимова С.В. Совершенствование систем аэрации сооружений биологической очистки сточных вод с использованием вихревых эрлифтных устройств: автореф. Дис. На соискание ученой степени кандидата технических наук. ГОУ ВПО «Пензенский государственный университет архитектуры и строительства», Пенза, 2006.

8. Коркодинов Я.А. Обзор семейства k-ε моделей для моделирования турбулентности // Вестник ПНИПУ. Машиностроение материаловедение, 2013, №2. – С. 5–16.

9. Бакакин, А.В. Математическая модель тепломассообменных процессов в ковше при обработке металла инертным газом Текст. / А.В. Бакакин, В.О. Хорoshiлов, Г.С. Гальперин, В.Е. Кельманов // Известия ВУЗов. Черная металлургия, 1985. № 9. – С. 51–54.

### References

1. Nezdoininov V.I. Hydrodynamic model of aerotank operation with a flooded airlift aeration system [Text] / V.I.

Nezdoininov, V.S. Rozhkov // Municipal Economy of Cities, 2010, No. 1 93. – P. 353–358.

2. Pronin A.A. Hydrodynamics and Mass Transfer of Oxygen in Aeration Structures: Abstract. dis. for the degree of a candidate of technical sciences. VNITIBP RAASH Moscow Institute of Municipal Economy and Construction, Moscow, 2005.

3. Kazakov V.D. Evaluation of the efficiency of biological treatment stations in Sayansk / V.D. Kazakov, N.D. Pelmenyova, V.D. Mozhaev // Bulletin of IrSTU, 2011 №12 (59). – С.123–127.

4. Nezdoininov V.I. Mathematical model of the distribution of circulating fluid flows in mine aeration tanks with pneumatic aeration / V.I. Nezdoininov, M.V. Bezdrovna, V.V. Belousov // Matematichne modelyuvannya. 2007, No. 1 (16). – P. 109–113.

5. Bezdrovna M. Recommendation sewage treatment plants and improve their efficiency / M. Bezdrovna, O. Kazak, A. Luchina // Interdisciplinary integration of science in technology, education and economics. Monograph: edited by Shalapko J. and Zoltowski B. Poland, 2013. – P. 122–127.

6. Klyuev NI, Solovieva E.A. Mathematical models of two-phase currents: Textbook. – Samara: Samara University Publishing House, 2010. – 51 p.

7. Maksimova S.V. Perfection of aeration systems for biological wastewater treatment plants using vortex air-lift devices: author's abstract. Dis. For the degree of a candidate of technical sciences. Penza State University of Architecture and Construction, Penza, 2006.

8. Korkodinov Ya.A. Overview of the family of k-ε models for modeling turbulence // Vestnik PNIIP. Engineering, Materials Science, 2013, №2. – P. 5–16.

• Bakakin A.B. Mathematical model of heat-exchange processes in a ladder when processing. / A.B. Bakakin, V.O. Khoroshilov, G.S. Galperin, V.E. Kel'manov // News of Higher Educational Institutions. Ferrous metallurgy, 1985. No. 9. – P. 51–54.

### Luchyna A.Y., Nedopekin F.V. INVESTIGATION OF VERTICAL TWO-PHASE FLOWS IN AEROTENKS WITH THE PNEUMATIC SYSTEM OF AERATION

*The problem of intensification of the process of biological treatment of domestic wastewater is considered in the present article. A mathematical model of hydrodynamic processes is developed in the aeration tank with a flooded air-lift column, taking into account the gas phase in the gas-liquid flow. The computational experiment was carried out using the software package Ansys Fluent 17.2. A vortex structure with ascending currents in the column region and descending in the free part of the aeration tank was detected, and scalar and vector velocity fields were obtained. It is shown that the use of microbubbles pneumatic aeration devices makes it possible to increase the efficiency of biological treatment and improve the quality of the treated domestic wastewater.*

**Key words:** biological treatment, aerotank, pneumatic aeration, hydrodynamic situation, two-phase flow.

**Недопекин Федор Викторович**, д.т.н., профессор, профессор кафедры физики неравновесных процессов,

метрологии и экологии им. И.Л. Повха ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк.

**Nedopekin Fedor Viktorovich**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Physics of Nonequilibrium Processes, Metrology and Ecology named after I.L. Povkh, State Educational Establishment of Higher Professional Education «Donetsk National University».

**E-mail:** f.nedopekin@gmail.com

**Лучина Анастасия Юрьевна**, старший преподаватель кафедры общей физики и дидактики физики ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк

**Luchyna Anastasiia Yurievna**, Senior Lecturer of the Department of General Physics and Physics didactics, State Educational Establishment of Higher Professional Education «Donetsk National University».

**E-mail:** anastasiia.luchyna@gmail.com

**Рецензент: Милославский Александр Григорьевич**, д.т.н., профессор, профессор кафедры теоретической физики и нанотехнологий физико-технического факультета ГОУ ВПО "Донецкий национальный университет".

*Статья подана 01.12.2017*

УДК 656.07

## УПРАВЛЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫМИ ПОТОКАМИ В ОБЕСПЕЧЕНИИ ЛОГИСТИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

Косоногова Л.Г., Стручалин А. Д.

### CONTROL OF INFORMATION FLOWS IN SUPPORT LOGISTICS PROCESS

Kosonogova L.G, Struchalin A.D.

*В основе процесса управления материальными потоками лежит обработка информации, циркулирующей в логистических системах и обеспечивающая производственно-хозяйственные процессы на предприятии. Современные технологии позволяют решать вопросы сжатия внутрифирменной и внешней информации, использования коммерчески выгодных интерфейсов, трансфера совместно используемых знаний между организационными подразделениями и партнерами по кооперации.*

**Ключевые слова:** логистические системы, информационные потоки, компании, бизнес-процесс, системы, средства, ГИС.

**Ведение.** В современных условиях мирового социально-экономического развития, особенно важной областью стало информационное обеспечение процесса управления, которое состоит в сборе и переработке информации, необходимой для принятия обоснованных управленческих решений.

Перед управляющим органом обычно ставятся задачи получения информации, ее переработки, а также генерирования и передачи новой производной информации в виде управляющих воздействий. Такие воздействия осуществляются в оперативных и стратегических аспектах и основываются на ранее полученных данных, от достоверности и полноты которых во многом зависит успешное решение многих задач управления. [ 1,5 ].

В разработку применяемых в настоящее время систем управления информационными потоками неоценимый вклад внесли отечественные исследователи П.В. Акинин, И.Н. Герчикова, Р.С. Гиляревский, Л.Г.Кузьмин, М.Ф. Мизинцева, а также зарубежные ученые Б.Голдстейн, М.Х.Мескон, Г.Поппель, С.Гислэн, Ф.Хедоури.

Информационные технологии сами по себе уже исчерпали себя, поэтому необходимо рассматривать развитие потенциала интегрированных систем технологий. Современные логистические информационные системы сделали скачок по интегрированному управлению информационными

потоками в реальном времени, созданию баз данных на основе фиксирования логистических операций. Природа современного логистического управления не ограничивается управлением внутрифирменной экономикой, а охватывает хозяйственные связи с поставщиками и потребителями[3].

**Изложение основного материала.** Под информационным управлением понимается организация и использование систем информационного обеспечения производственно-хозяйственных процессов на предприятии. Оно базируется на системном подходе, который охватывает все виды деятельности, связанные с планированием и управлением процессами, нацеленными на обеспечение предприятия релевантной информацией. Каждое предприятие должно иметь свою стратегию интеграции информационного обеспечения принятия решений, определяемую паспортными данными изделия, его жизненным циклом и технологией изготовления, выбранным способом обработки данных, средствами передачи информации клиентам и партнерам и другими факторами [2].

В центре эффективного управляемого материального потока должен находиться эффективно управляемый поток информации рис. 1.



Рис. 1. Схема направления потоков в логистике

Различают три варианта взаимодействия материальных и информационных потоков, когда информация опережает, сопровождает и поясняет материальный поток после его прохождения.

**Цель работы** – анализ значения информационного потока на обеспечение логистического процесса для эффективного функционирования предприятия.

**Задача** – определение с оценкой получения возможности управления, контроля и комплексного планирования движения материалов и изделий, управления информационными потоками и ресурсами.

Информационные потоки бывают всегда заданной длины, обладают определенной скоростью движения (передачи) и интенсивностью, время их движения конечно. Рассматривают ИП по направлению как входные и выходные, непрерывные и дискретные, детерминированные и стохастичные, периодические и непериодические, ритмичные и неритмичные, простые и сложные, управляемые и неуправляемые рис.2.

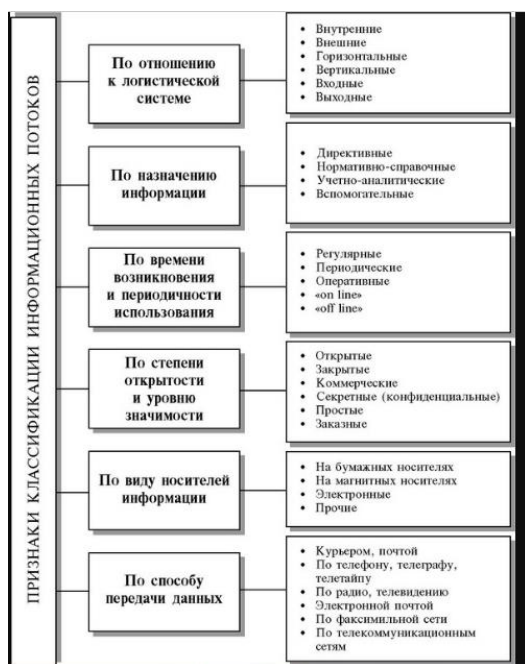


Рис. 2. Классификация информационных потоков

Информационное обслуживание логистической системы должно удовлетворять определенным организационным требованиям. К основным требованиям относятся: [4].

а) системность обслуживания, которая проявляется: - в комплексности видов информационного обслуживания с учетом характера деятельности потребителей и решаемых ими задач в логистических процессах; - во всестороннем удовлетворении информационных потребностей, возникающих у работников в логистической системе;

б) надежность обслуживания, которая предполагает такое обеспечение информацией, когда на каждом этапе выполнения работ потребитель получает всю необходимую ему информацию в нужные сроки и в наиболее удобном для него виде;

в) полнота обслуживания, которая подразумевает: -полноту охвата выполняемых потребителем работ; - полноту доведения до конкретного потребителя необходимой информации, отобранной для него из информационного потока;

г) дифференцированность обслуживания, состоящая в том, что каждый потребитель индивидуально обеспечивается информацией, способствующей решению поставленных перед ним задач в логистическом процессе.

Большое разнообразие и объем собираемых данных требуют и системного подхода к их обработке. В мире объем самой разной информации, передаваемой через информационно-телекоммуникационную инфраструктуру, удваивается каждые 2-3 года. Проблема «информационных перегрузок» решается сегодня с помощью извлечения из всего массива данных необходимой для нужд пользователя информации путем применения совершенных средств оборота, дальнейшей обработки и своевременного обновления информации. Современные технологии позволяют решать вопросы сжатия внутрифирменной и внешней информации, использования коммерчески выгодных интерфейсов, трансферта совместно используемых знаний между организационными подразделениями и партнерами по кооперации.

В настоящее время основой для решения задач обработки информации стал системный подход к анализу и построению так называемых "открытых систем". Именно этот подход обеспечивается применением ГИС как класса автоматизированных систем. Применение этого подхода позволяет проводить анализ безотносительно к предметной области использования ГИС и применять объективные критерии оценки. Каждой из этих функциональных подсистем реализуются [5].

**Выводы.** Рассмотрены: разнообразные информационные потоки, являющимися теми связями, которые объединяют в единое целое различные функциональные системы.

В каждой из этих функциональных подсистем реализуются материальные потоки, соответствующие целям, обеспечиваемым этими подсистемами.

Информационные потоки объединяют эти подсистемы в единое целое, так что отдельные цели каждой подсистемы подчиняются, общей цели всего производственно-сбытового комплекса. Именно это является основной концепцией значения информационных потоков в логистике.



**Л и т е р а т у р**

1. Гаджинский А. М. Логистика: Учебник. - 16-е изд., па- Г 13 пераб. и доп. - М.: Издательско-торговая корпорация «Дашков и К», 2008. — 484 с.
2. Гордон М.П., Карнауков СБ. Логистика товародвижения. - М.: Центр Всономики и маркетинга, 1998. - 208с.
3. Неруш Ю.М. Логистика: уч.еб. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: ТК Велби, Изд – во Проспект, 2006. – 520 с.
4. Смахов А.А. Основы транспортной логистики. М.: Транспорт, 1995.
5. Саркисов СВ. Управление логистикой. М.: Бизнес-школа Интел-Синтез, 2001. – 120 с.

**References**

1. Gadzhinskiy A. M. Logistics: the Textbook. - 16 th ed., Pe-G 13 re. and additional. - M .: Publishing and Trading Corporation "Dashkov and Co.", 2008. - 484 p.
2. Gordon MP, Karnaukhov SB. Logistics of goods movement. - Moscow: Center for Vsonomics and Marketing, 1998. - 208s.
3. Nerush Yu.M. Logistics: uch.eb. - 4 th ed., Pererab. and additional. - M.: T. Velbi, Publishing house Prospekt, 2006. - 520 p.
4. Smekhov A.A. Fundamentals of transport logistics. M .: Transport, 1995.
5. Sarkisov SV. Logistics management. M .: Intel-Sintez Business School, 2001. - 120 p.null

**Kosonogova L.G, Struchalin A.D.  
CONTROL OF INFOMATIC FLOWS IN SUPPORT  
LOGISTICS PROCESS**

*The process of managing material flows is based on the processing of information circulating in logistics systems and*

*ensuring production and economic processes in the enterprise. Modern technologies allow solving the problems of compression of internal and external information, the use of commercially viable interfaces, the transfer of shared knowledge between organizational units and partners in cooperation.*

**Key words:** *logistics systems, information flows, companies, business process, systems, tools, GIS.*

**Косоногова Лариса Георгиевна**, кандидат технических наук, доцент кафедры транспортных систем Луганского национального университета им. Владимира Даля.  
**E-mail:** arbela@mail.ru.

**Kosonogova Larisa Georgievna**, candidate of technical Sciences, associate Professor of the transport systems of the Lugansk national University. Vladimir Dahl.  
**E-mail:** arbela@mail.ru.

**Стручалин А. Д.** магистр первого года обучения по специальности «Транспортные системы» Луганского национального университета им. Владимира Даля.  
**E-mail:** Villeon@yandex.ru.

**Struchalin A.D.** master's degree first year students of the specialty "Transport systems" Lugansk national University Vladimir Dahl.  
**E-mail:** Villeon@yandex.ru.

**Рецензент: Куценко А.В.** к.т.н., доц. кафедра ТЛ, Луганского национального университета им. Владимира Даля.

*Статья подана 03.12.2017*

УДК 621.38-002.532

## МОДЕЛИРОВАНИЕ НАНОТРАНЗИСТОРОВ В ПАКЕТЕ NI MULTISIM

Бобровский Г.А.

## NANOTRANSISTORS MODEL IN NI MULTISIM PACKAGE

Bobrowski G.A.

*Компьютерная модель нанотранзистора в NI Multisim разработана на основе теории четырехполосников. Она построена в виде системы из двух взаимосвязанных четырехполосников. Предусмотрено два варианта ее реализации применительно к униполярным и биполярным наноприборам соответственно. Работоспособность модели проверена в виртуальных экспериментах. Модель учитывает взаимное влияние близко расположенных компонентов при переходе от микро- к нанометровому диапазону их исполнения.*

**Ключевые слова:** нанотранзистор, нанометровый диапазон, наноприбор, виртуальный эксперимент, отрицательная (положительная) обратная связь, наноусилитель, коэффициент усиления мощности, напряжения, тока.

**Введение.** Переход от микро- к наномасштабам сопряжен с появлением новых электрофизических явлений в наноприборах, с изменением способов передачи сигналов между нанозементами, а также с модификацией методов формирования, восприятия и регистрации сигналов на входах и выходах наносхем [1]. На данный момент выход нанотранзисторов из разряда «бумажных наноприборов» в разряд реально созданных приборов подкрепляется моделями высокого уровня, среди которых одной из наиболее востребованных является программа приборно-технологического моделирования Sentaurus TCAD компании Synopsys (США), мирового лидера в разработке данного класса программ [2].

Вместе с тем при анализе и расчете характеристик и параметров нанотранзисторов непосредственно в составе электронной схемы требуется стыковочное моделирование с использованием TCAD-моделей совместно со SPICE-моделями. По нашему убеждению, предлагаемые в данной работе модели транзисторов, реализованные в среде программы NI Multisim, могут быть эффективно применены для этих целей. При этом реальные характеристики и параметры

нанотранзисторов в составе схемы могут быть определены до изготовления чипов ИМС.

**Изложение основного материала.** Модель нанотранзистора разработана на основе теории 4-полосников (ЧП) применительно к 3-полосным компонентам [3]. В качестве SPICE-симулятора для построения модели нанотранзистора нами выбрана программа NI Multisim 14, встроенные инструменты и алгоритмы которой позволяют исследовать в виртуальном эксперименте электронные схемы с большим количеством элементов [4]. Наличие встроенных в программу зависимых (управляемых) источников различных типов позволяет компактно представлять 4-полосники в виде их SPICE-моделей, хорошо согласующихся с матричным представлением ЧП. Программа NI Multisim 14 имеет большое количество виртуальных измерительных приборов, работа с которыми подобна работе с реальными приборами, что упрощает переход от виртуальных к натурным исследованиям.

Предварительный анализ показал, что при построении SPICE-модели нанотранзистора необходимо учитывать ряд факторов, имеющих место в нанометровом диапазоне базовых параметров наноструктуры, а именно:

1. Увеличение влияния внутренних обратных связей (ВОС) в транзисторе на его характеристики и параметры. Коэффициенты ВОС перестают быть пренебрежимо малыми, их нельзя положить равными нулю.

2. Близкорасположенные элементы наноструктуры вызывают локальный нагрев соседних наноприборов, добавляя его к их саморазогреву. С ростом рабочей частоты тепловые эффекты усиливаются. К этому следует добавить взаимные электромагнитные воздействия элементов наноструктуры на «соседей», в результате чего сужается область устойчивой работы наноприборов.

3. Параметры сопротивления нагрузки  $Z_n$  и параметры источника сигналов, его ЭДС  $V_2$ , частота  $f$  и внутреннее сопротивление  $Z_s$  оказывают

существенное влияние на входное  $Z_{in}$  и выходное  $Z_{out}$  сопротивление, коэффициент усиления напряжения  $K_u$  и тока  $K_i$  усилителя на основе нанотранзистора. К примеру, для усилителя, представленного в виде 4-полюсника с двумя сторонами в Н-параметрах это влияние может быть видно из соотношений:

$$K_u := \frac{h_{21}}{(-\Delta H + h_{11} \cdot Y_n)}, \quad (1)$$

$$K_i := \frac{h_{21}}{(1 - h_{22} \cdot Z_n)}, \quad (2)$$

$$Z_{in} := \frac{h_{11} - \Delta H \cdot Z_n}{(1 - h_{22} \cdot Z_n)}, \quad (3)$$

$$Z_{out} := \frac{Z_s + h_{11}}{-(h_{22} \cdot Z_s + \Delta H)}, \quad (4)$$

где  $h_{11}$  – входное сопротивление нанотранзистора;  $h_{12}$  – его коэффициент ВОС;  $h_{21}$  – коэффициент усиления тока нанотранзистора;  $h_{22}$  – его выходная проводимость;  $\Delta H$  – модуль матрицы Н-параметров транзистора;  $Y_n$  – проводимость нагрузки  $Y_n=1/Z_n$ .

**Результаты исследования.** Исходя из изложенного выше, SPICE-модель нанотранзистора предложено выполнить в виде взаимосвязанной системы из двух SPICE-моделей 4-полюсников, одна из которых является моделью нагруженного с двух сторон усилителя (МН2СУ), а вторая – моделью звена обратной связи (МЗОС). При этом выбраны 2 варианта построения модели нанотранзистора в виде системы из двух 4-полюсников. Первый вариант ориентирован на построение модели биполярного нанотранзистора. Для ее реализации модель МН2СУ, построенная в Н-параметрах, соединяется с моделью МЗОС в G-параметрах по схеме, формирующей отрицательную (положительную) обратную связь по напряжению. Во втором варианте построение SPICE-модели униполярного транзистора выполняется путём соединения модели МН2СУ, построенной в G-параметрах, с моделью МЗОС в Н-параметрах по схеме, создающей отрицательную (положительную) обратную связь по току.

SPICE-модель **биполярного** нанотранзистора приведена на рис.1.

В схеме рис.1 напряжение  $U_1$  от источника  $V_2$  с внутренним сопротивлением  $Z_s$  поступает на вход 4-полюсника ( $I_1$ ,  $V_1$ ,  $R_1$ ,  $R_2$ ) в Н-параметрах, где оно суммируется с напряжением  $U_{2F}$  с выхода звена обратной связи ( $V_{1F}$ ,  $I_{1F}$ ,  $Z_{1F}$ ,  $Z_{2F}$ ), представленным в G-параметрах. Первый из указанных 4-полюсников (МН2СУ) в матричной форме описывается системой уравнений (5), а второй (МЗОС) – системой уравнений (6).

$$\begin{pmatrix} U_1 \\ I_2 \end{pmatrix} := \begin{pmatrix} h_{11} & h_{12} \\ h_{21} & h_{22} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} I_1 \\ U_2 \end{pmatrix}, \quad (5)$$

$$\begin{pmatrix} I_{1F} \\ U_{2F} \end{pmatrix} := \begin{pmatrix} g_{11F} & g_{12F} \\ g_{21F} & g_{22F} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} U_{1F} \\ I_{2F} \end{pmatrix}, \quad (6)$$

где  $I_1$ ,  $U_1$  – входные,  $I_2$ ,  $U_2$  – выходные токи и напряжения ЧП МН2СУ;  $I_{1F}$ ,  $U_{1F}$  – входные,  $I_{2F}$ ,  $U_{2F}$  – выходные токи и напряжения МЗОС;  $g_{22}$  – его выходное сопротивление;  $g_{21}$  – коэффициент передачи напряжения МЗОС;  $g_{12}$  – коэффициент ВОС по току звена ОС.

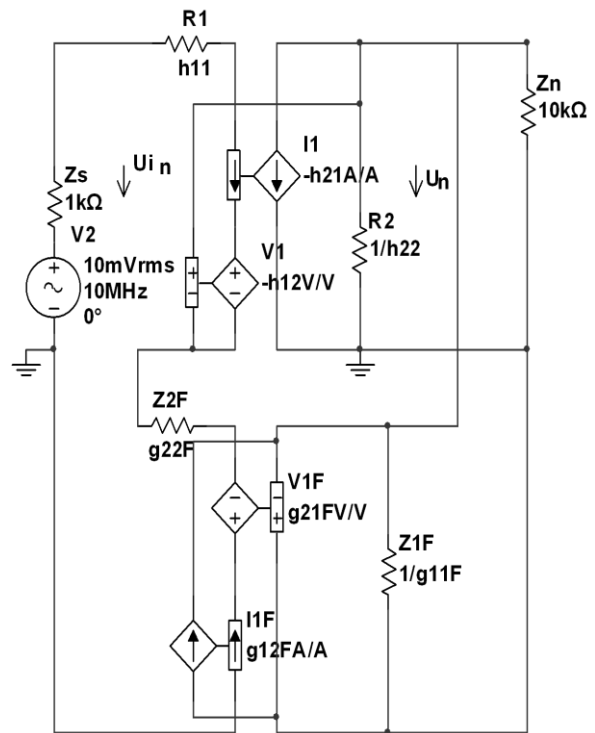


Рис.1. Модель биполярного нанотранзистора с отрицательной обратной связью по напряжению между 4-полюсниками

В SPICE-модели биполярного транзистора (рис. 1) модель усилителя МН2СУ построена с использованием зависимого источника  $I_1$ , управляемого входным током нанотранзистора и зависимого источника напряжения  $V_1$ , управляемого напряжением его внутренней обратной связи. При этом в схеме (рис.1) модель звена обратной связи (МЗОС) сформирована на основе зависимого источника напряжения  $V_{1F}$ , управляемого входным напряжением звена ОС, и зависимого источника тока  $I_{1F}$ , управляемого током внутренней обратной связи.

Назначение отдельных элементов модели биполярного нанотранзистора (рис.1):

1. Модель звена МЗОС корректирует характеристики нанотранзистора в том

направлении, в каком они изменяются под действием локального прогрева, саморазогрева и электромагнитного взаимодействия с «соседями» в реальной схеме чипа ИМС.

2. Учёт влияния собственных внутренних обратных связей нанотранзистора на его характеристики в данной модели возлагается на представленный в МН2СУ зависимый источник напряжения V1, управляемый напряжением ВОС. Этот источник не может быть удален из модели при упрощенном анализе характеристик прибора.

3. Учёт влияния параметров источника сигналов V2 и сопротивления нагрузки Zн на характеристики биполярного наноприбора обеспечивается их непосредственным подключением к его SPICE-модели (см. рис.1). В зависимости от целей исследования в качестве источника сигналов V2 может быть источник синусоидальных, либо импульсных сигналов, либо источник постоянного тока, а сопротивление нагрузки Zн – комплексным, или чисто активным.

После завершения отладки и апробирования SPICE-модели биполярного нанотранзистора она может быть представлена в более компактном виде (рис. 2).

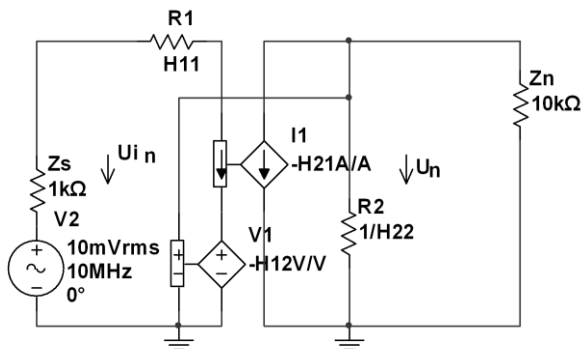


Рис. 2. Модель биполярного нанотранзистора в компактном виде

Параметры компактной SPICE-модели биполярного нанотранзистора (рис.2) связаны с параметрами исходной его модели (рис.1) следующими соотношениями:

$$H11 := h11 - g22F, \quad (7)$$

$$H12 := h12 + g21F, \quad (8)$$

$$H21 := h21 + g12F, \quad (9)$$

$$H22 := h22 - g11F, \quad (10)$$

где H11 – результирующее входное сопротивление биполярного нанотранзистора; H12 – его результирующий коэффициент ВОС; H21 – результирующий коэффициент усиления тока

нанотранзистора; H22 – его результирующая выходная проводимость.

SPICE-модель **униполярного** нанотранзистора (рис. 3) формируется на основе SPICE-модели усилителя МН2СУ, нагруженного с двух сторон в G-параметрах с использованием зависимого источника напряжения V1, управляемого входным напряжением, и зависимого источника тока I1, управляемого током внутренней обратной связи нанотранзистора. В матричной форме SPICE-модель усилителя (МН2СУ) описывается матричной системой уравнений (11), а SPICE-модель звена обратной связи (МЗОС) – системой уравнений (12).

$$\begin{pmatrix} I1 \\ U2 \end{pmatrix} := \begin{pmatrix} g11 & g12 \\ g21 & g22 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} U1 \\ I2 \end{pmatrix}, \quad (11)$$

$$\begin{pmatrix} U1F \\ I2F \end{pmatrix} := \begin{pmatrix} h11F & h12F \\ h21F & h22F \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} I1F \\ U2F \end{pmatrix}, \quad (12)$$

Модель звена обратной связи схемы (рис.3) построена в H-параметрах на основе зависимого источника тока I1F, управляемого его входным током, и зависимого источника напряжения V1F, управляемого напряжением внутренней обратной связи. При этом звено обратной связи является звеном отрицательной обратной связи по току при его включении, как это показано на рис.3.

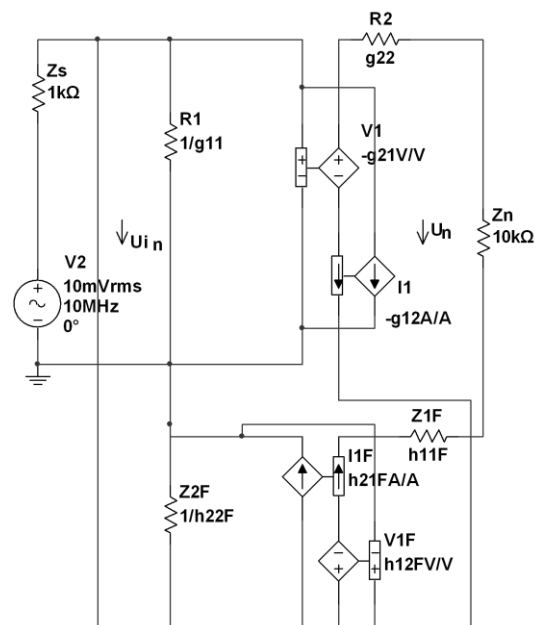


Рис. 3. Модель униполярного нанотранзистора с отрицательной обратной связью по току между 4-полюсниками

Для перехода к построению SPICE-модели униполярного нанотранзистора в G-параметрах в более компактной форме необходимо параметры

этой модели определить с использованием следующих соотношений:

$$G11 := g11 - h22F, \quad (13)$$

$$G12 := g12 + h21F, \quad (14)$$

$$G21 := g21 + h12F, \quad (15)$$

$$G22 := g22 - h11F, \quad (16)$$

где  $g11, g12, g21, g22$  – G-параметры МН2СУ модели (рис.3);  $h11F, h12F, h21F, h22F$  – H-параметры МЗОС модели униполярного нанотранзистора (рис. 3).

С учётом соотношений (13), (14), (15), (16) модель униполярного нанотранзистора может быть преобразована к виду, показанному на рис.4.

Коэффициент усиления напряжения  $K_u$ , коэффициент усиления тока  $K_i$ , входное сопротивление  $Z_{in}$  и выходное сопротивление  $Z_{out}$  усилителя на основе модели униполярного нанотранзистора (рис. 4) определяется из следующих соотношений:

$$K_u := \frac{G21}{(1 - Y_n \cdot G22)}, \quad (17)$$

$$K_i := \frac{G21}{(Z_n \cdot G11 - \Delta G)}, \quad (18)$$

$$Z_{in} := \frac{(Z_n - G22)}{(Z_n \cdot G11 - \Delta G)}, \quad (19)$$

$$Z_{out} := -\left(\frac{Z_s \cdot \Delta G + G22}{1 + Z_s \cdot G11}\right), \quad (20)$$

где  $\Delta G$  – модуль матрицы G-параметров ЧП (рис.4);  $G11$  – результирующая входная проводимость униполярного нанотранзистора;  $G12$  – результирующий коэффициент ВОС по току;  $G21$  – результирующий коэффициент усиления напряжения униполярного нанотранзистора;  $G22$  – результирующее выходное сопротивление.

Тестирование моделей биполярного (МБТ) и униполярного (МУТ) нанотранзисторов проводилось в виртуальных экспериментах в среде программы NI Multisim. На рис. 5 показан один из фрагментов тестирования МБТ. В этом фрагменте параметры модели МБТ оцифрены, а в ее входные и выходные цепи включены прямопоказывающие виртуальные индикаторы напряжения и тока, обеспечивающие выполнение измерений в виртуальных экспериментах при вариации H- и G-параметров модели наноприбора, параметров источника входных сигналов  $Z_s$  и нагрузки  $Z_n$ . В рассматриваемой модели МБТ (рис.5) 4-полюсник

корректирующего звена обратной связи представлен в виде натурального делителя напряжения  $Z1F = 1$  кОм,  $Z2F = 10$  кОм.

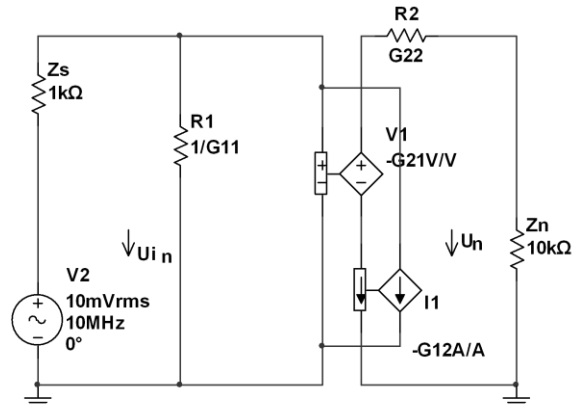


Рис.4. Модель униполярного нанотранзистора в компактном виде

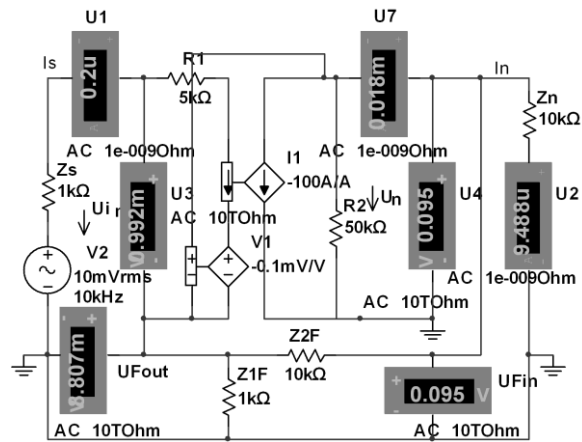


Рис. 5. Тестирование модели биполярного нанотранзистора

В соответствии с показаниями измерительных приборов в схеме (рис. 5) имеем:

$$K_{uF} := \frac{U_n}{U_{in}}, \quad (21)$$

$$K_{uF} = 95.766 \quad (K_u = 169.7)$$

$$K_{iF} := \frac{I_n}{I_s}, \quad (22)$$

$$K_{iF} = 47.445 \quad (K_i = 83.4)$$

где  $K_{uF}, K_{iF}$  – коэффициенты усиления напряжения и тока в схеме модели усилителя на основе модели МБТ при включенном звене обратной связи;  $K_u, K_i$  – эти же коэффициенты в отсутствии коррекции с помощью звена обратной связи;  $I_n, I_s$  – токи, протекающие в нагрузке и во входной цепи модели МБТ;  $U_n, U_{in}$  – напряжение на нагрузочном

сопротивлении  $Z_n$  и на входном сопротивлении  $R_1$  модели соответственно.

Один из фрагментов тестирования модели униполярного нанотранзистора приведен на рис.6. Здесь 4-полюсник звена обратной связи выполнен в виде натурального делителя тока  $Z_{1F} = 1 \text{ кОм}$ ,  $Z_{2F} = 9 \text{ кОм}$ .

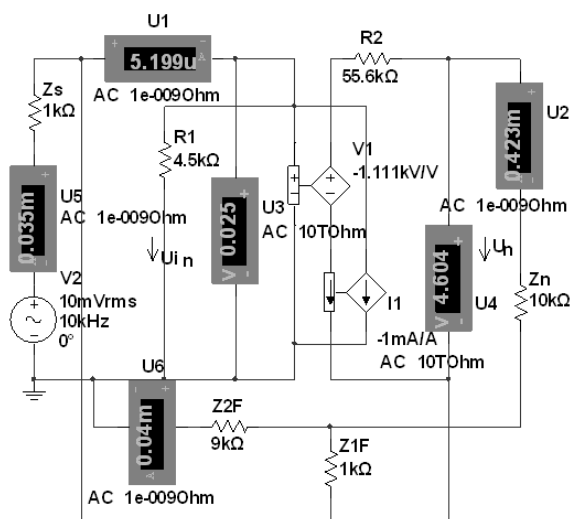


Рис. 6. Тестирование модели униполярного нанотранзистора

В соответствии с показаниями измерительных приборов в схеме (рис.6) имеем:

$$U_n := I_n \cdot Z_n, \quad (23)$$

$$K_u F = 169.2 \quad (K_u = 169.7)$$

$$K_i F = 12.09 \quad (K_i = 83.4)$$

**Выводы.** 1. Предложенные SPICE-модели биполярных и униполярных нанотранзисторов позволяют проводить виртуальное исследование характеристик и параметров наноприборов при их работе в нагруженной электронной схеме при вариации параметров источников входных сигналов, сопротивления нагрузки, а также H- и G-параметров 4-полюсников модели.

2. При исследовании характеристик нанотранзисторов 4-полюсник звена обратной связи выполняет функции учёта взаимного локального нагрева элементов структуры, саморазогрева и электромагнитного влияния близкорасположенных элементов в нанометровом диапазоне их исполнения.

3. Усилительные свойства и свойства сопряжения элементов по входам и выходам электронной схемы в данной модели возлагается на нагруженный с двух сторон 4-полюсник усилителя на основе исследуемых нанотранзисторов.

4. Построение SPICE-модели нанотранзистора обеспечивается наличием в пакете NI Multisim

зависимых источников тока, управляемых током, а также зависимых источников напряжения, управляемых напряжением.

## Л и т е р а т у р а

1. Нанотехнологии в полупроводниковой электронике/Отв. редактор А.Л. Асеев. –Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2004.
2. Тихомиров П., Пфеффли П., Зорзи М. Система Sentaurus TCAD компании Synopsys // Электроника: НТБ. –2006. –№7. –С.89 – 95.
3. Зелингер Дж. Основы матричного анализа и синтеза применительно к электронике. Пер. с англ., под ред. Г.А. Ремеза.- М.: изд-во «Совесткое радио», 1970. – 240с.
4. Макаренко В. Моделирование радиоэлектронных устройств с помощью программы NI Multisim // Электронные компоненты и системы. – Киев: VD MAIS. – 2008. –№1. –С.50–56.

## References

1. Nanotechnology in semiconductor electronics/ Executive editor A. L. Aseev. –Novosibirsk:Publishing house SO RAN, 2004.
2. Tikhomirov P., Pfaffli P., Zorzi M. System Sentaurus TCAD Synopsys company // Electronics: NTB. -2006. –No. 7. –p. 89 – 95.
3. Zelinger, Jh. The foundations of matrix analysis and synthesis with regard to electronics. translation from English, under the editorship of G. A. Remez, M.: publishing house "Soviet radio", 1970. –240 p.
4. Makarenko V. Modeling of electronic devices using the NI Multisim Electronic components and systems. – Kiev: VD MAIS. -2008. –No. 1. –p. 50-56.

## Bobrowskiy G.A. NANOTRANSISTORS MODEL IN NI MULTISIM PACKAGE

The computer model of nanotransistor in NI Multisim is developed on the basis of the four-terminal network theory. It is constructed in the form of a system of two interconnected four-ports. There are two variants of its implementation for unipolar and bipolar nanodevices, respectively. The working capacity of the model is tested in virtual experiments. The model takes into account the mutual influence of closely located components in the transition from the micro to the nanometer range of their performance.

**Keywords:** nanotransistor, nanometer range, nanoparticle, virtual experiment, negative (positive) feedback, nanoamplifier, power gain, voltage, current.

**Бобровский Геннадий Александрович** – к.т.н., доц. кафедры микро- и нанoeлектроники Луганского национального университета имени Владимира Даля.  
**E-mail:** nanobobr@bk.ru

**Gennadiy Bobrowskiy** – Ph.D., docent of department of micro- and nanoelectronics of Lugansk Vladymyr Dahl National University.  
**E-mail:** nanobobr@bk.ru

**Рецензент: Кожемякин Г.Н.**, д.т.н., проф., зав. кафедры микро- и нанoeлектроники Луганского национального университета имени Владимира Даля.

Статья подана 15.11.2017

УДК 621.433

## ПРОПУСКНАЯ СПОСОБНОСТЬ ЗАГРУЗОЧНОГО ОКНА ПИТАТЕЛЯ АВТОМОБИЛЬНОГО ГАЗОГЕНЕРАТОРА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СКОРОСТИ ИСТЕЧЕНИЯ ПЕЛЛЕТ

Губачева Л.А., Шевченко Д.Ю.

## CAPACITY OF THE LOADER WINDOW OF AUTOMOBILE GAS GENERATOR DEPENDING ON THE SPEED OF PELLET EXPOSURE

Gubacheva L.A., Shevchenko D. Y.

*В работе исследовано влияние размера выпускного отверстия бункера на скорость истечения. Определили вид истечения. Представлены результаты экспериментальных и теоретических данных истечения для лужки подсолнечника и сосны. Обоснована методика расчета длины загрузочного окна питателя автомобильного газогенератора. В результате экспериментов получены данные, устанавливающие связь между производительностью истечения  $Q_0$  и диаметром выпускного отверстия  $R$  для исследуемых пеллет.*

**Ключевые слова:** автомобильный газогенератор, биотопливо, пеллеты, горелка объемного горения, загрузочное окно, питатель.

**Введение.** На фоне интенсивного роста спроса на жидкое горючее топливо совершенствуются и методы использования растительной биомассы для ДВС. Это становится все более и более экономически рентабельным по мере удорожания нефти [1, 2].

Учитывая привлекательность пеллет как идеального топлива для автомобильных газогенераторов, частую установку газификации конструируются специально для пеллет. Рост популярности процесса газификации пеллет в настоящее время обусловлен следующими основными факторами: экологическая безопасность, низкая стоимость. Кроме того, применение пеллет позволяет автоматизировать процесс газификации.

Специфические требования к транспортным газогенераторам (малые габариты, неустойчивость процесса газификации, переменный режим и необходимость более тщательной очистки и охлаждения газа) заставили конструкторов выйти за рамки стационарной техники. Ряд вопросов, связанных с переводом двигателей с жидкого топлива на генераторный газ, потребовал дополнительных нестандартных решений. Однако сама методология расчета и конструирования автомобильных газогенераторных установок

существенно не менялась с середины прошлого века. Она уже морально устарела и требует всестороннего анализа и доработки для дальнейшей конструктивной оптимизации газогенераторов [3,4].

Для нормальной работы шнекового транспортера необходимо, чтобы пропускная способность загрузочного окна транспортера несколько превышала максимальную транспортирующую способность винта или была равной ей. Подача пеллет из бункера-ворошителя осуществляется через диффузионную камеру. Конец шнека на участке, равном длине окна этой камеры, захватывает материал и передает его в кожу. Исходя из конструктивных соображений обычно ширину окна принимают  $h = 0,6 - 0,8D_1$  ( $D_1$  - диаметра кожуха транспортера), а длину  $b = (1,5 - 2,5)S$ , где  $S$  - шаг винта [5-7].

Отклонение длины загрузочного окна от оптимальной величины вызывает возрастание удельной потребляемой мощности. Размер загрузочного окна существенно влияет на подачу  $Q_{TP}$  транспортера [8]. Очевидно актуальным, при конструировании автомобильных газогенераторных установок располагающихся под кузовом автомобиля и работающих на пеллетном топливе является определение параметров транспортирующей части пеллетной горелки объемного горения в том числе длины загрузочного окна.

**Целью работы является** совершенствование конструкции автомобильного газогенератора путем определения пропускной способности и длины загрузочного окна питателя автомобильного газогенератора в зависимости от скорости истечения пеллет.

### **Материалы и результаты исследования.**

Истечение сыпучих материалов из бункера автомобильного газогенератора бывает нормальное, сплошное и гидравлическое. При сплошном истечении все частицы груза в бункере находятся

одновременно в движении. Свободная поверхность сыпучего тела в бункере не имеет четко выраженной воронки; все точки этой поверхности опускаются одновременно, причем скорость опускания отдельных частиц носит стохастический характер. При сплошной форме истечения в бункере отсутствуют застойные зоны, что позволяет выравнивать поток насыпного груза, поступающего в бункер неравномерно. При сплошном истечении скорость груза на выходе из отверстия практически не зависит от высоты столба груза в бункере. Гидравлическое истечение происходит при выпуске из бункера при интенсивных вибрациях насыпного груза, когда максимальные ускорения превосходят некоторое критическое значение, соответствующее нарушению постоянства бокового давления груза на стенки бункера. Эта разница объясняется тем, что при сплошном истечении происходит чередование микропроцессов образования и разрушения динамических сводов из частиц материала над выпускным отверстием, а при гидравлическом истечении материал вытекает из отверстия как жидкость, без образования динамических сводов.

Скорость при сплошном истечении зависит от размера выпускного отверстия, а при гидравлическом — от высоты слоя материала над отверстием [9].

Так как в автомобильной газогенераторной установке используется бункер, который не сможет обеспечить равномерность подачи пеллет и высоту столба пеллет на протяжении всего цикла работы, то лучше использовать сплошную форму истечения. Однако при движении газогенераторного автомобиля происходит вибрация насыпного груза, поэтому одновременно в прямой воронке будет присутствовать сплошная и гидравлическая форма истечения. Кроме того, при эксплуатации газогенераторного автомобиля необходимо изменять производительность газогенераторной установки, а это, значит, уменьшать скорость подачи пеллет. Необходимо изменять размер выпускного отверстия бункера для согласования с работой пеллетной горелки. На основании выше изложенного необходимо исследовать влияние размера выпускного отверстия бункера на скорость истечения.

Так как при проектировании предполагается использование выпускного отверстия без наклона к горизонту диаметром 80 мм. В качестве регулирования подачи топлива предполагается использовать шабер, то в эксперименте по определению скорости истечения использовали сосуд диаметром 80 мм со сменными вставками от 35 до 60 мм. Используя график для определения вида истечения представленного в работе [9] (рис. 1) и полученные данные по пеллетам [4] трудно определить какой вид истечения будет наблюдаться. Необходимо определить вид истечения.

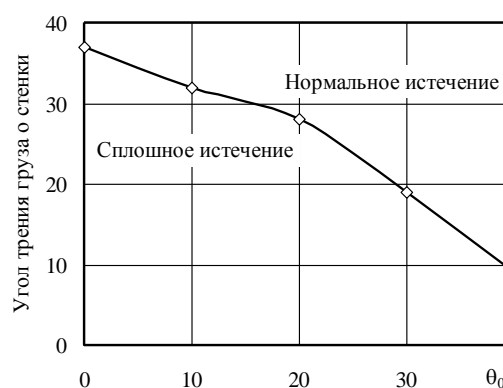


Рис. 1. График для определения вида истечения

Для определения теоретической скорости истечения пеллет использовали выражения:

$$V = (2,546 - 0,162d)F^{0,25}, \quad (1)$$

где  $d$  – средний диаметр частиц материала, мм;  $F$  – площадь отверстия, м<sup>2</sup>.

$$V = 5730\sqrt{R(R^2 - 1,9)}, \quad (2)$$

где  $V$  – предельная объемная скорость истечения, см<sup>3</sup>/мин;  $R$  – радиус отверстия, см;  $d$  – средний диаметр частиц материала, см.

$$V = \lambda\sqrt{2g}(2,1R - 3,4\frac{\tau_0}{\rho}). \quad (3)$$

где  $\tau_0$  – начальное сопротивление сдвигу;  $\rho_n$  – насыпная плотность сыпучего материала;  $g$  – ускорение силы тяжести;  $\lambda$  – коэффициент истечения (для хорошо сыпучих материалов  $\lambda = 0,3 \dots 0,5$ ).

Полученные данные по этим выражениям не соответствуют экспериментальным. Наиболее подходящим является выражение для нормального истечения скорости материала (м/с)

$$v \approx \lambda\sqrt{3,2gR}, \quad (4)$$

где  $R = \omega_{оме} / L$  – гидравлический радиус выпускного отверстия.

В случае истечения из бункера кусковых материалов при определении гидравлического радиуса учитываются размеры типичного куска, за счет которого истинные размеры выпускного отверстия уменьшаются. Для круглого отверстия [10]

$$\omega_{оме} = \pi(D - a')^2 / 4$$

$$R = \omega_{оме} / L = \pi(D - a') / [4\pi(D - a')] = (D - a') / 4$$



где  $D$  – диаметр выпускного отверстия,  $a'$  – размер типичного куска.

Результаты экспериментальных и теоретических данных представлены на рис. 2 для пеллет из лозги подсолнечника и сосны в пересчете на объем ( $\text{м}^3/\text{с}$ ).

Зависимость скорости истечения пеллет от диаметра выпускного отверстия (рис. 2) указывает на то, что при диаметрах от 0,04 до 0,05 м наблюдается нормальный вид истечения. Очевидно, внутри бункера образуются зоны застоя, имеющие угол наклона к горизонтали ( $\alpha = 45 - 55^\circ$ ), при пропуске пеллет через выпускное отверстие. Наблюдали в бункере перемещение пеллет в виде столба, расположенного над выпускным отверстием, на поверхности пеллет образовывалась воронка. Это перемещение происходит под действием веса столба материала [10].

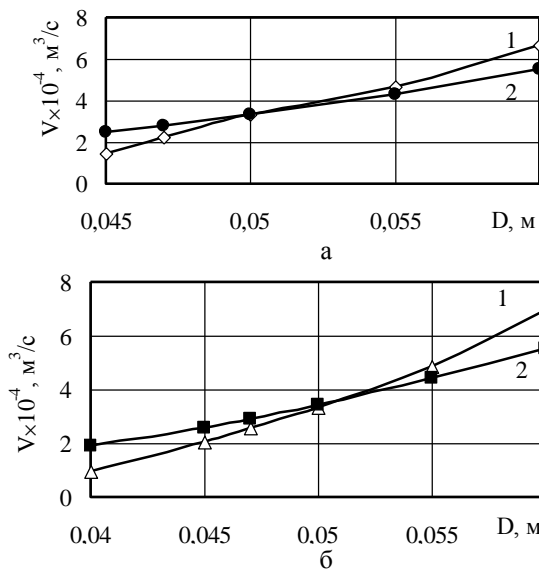


Рис. 2. Зависимость скорости истечения пеллет от диаметра выпускного отверстия: а – из лозги подсолнечника; б – из сосны;

1 – экспериментальные данные; 2 – расчетные данные

Движущая сила (Н)

$$F_{ДВ} = \rho h \omega_{оме} g = f(\omega_{оме}), \quad (5)$$

где  $\rho h g$  – вертикальное давление от веса материала, Па;  $\omega_{оме}$  – площадь поперечного сечения выпускного отверстия,  $\text{м}^2$ .

Препятствует вытеканию материала сопротивление  $F_f(H)$  – силы трения между подвижными и неподвижными слоями материала:

$$F_f = \rho h f \varepsilon L h g = f(L), \quad (6)$$

где  $\varepsilon$  – коэффициент бокового давления, равного отношению бокового давления к осевому;  $L$  –

периметр выпускного отверстия, м;  $Lh$  – площадь боковой поверхности перемещающегося столба материала,  $\text{м}^2$ ;  $f$  – коэффициент внутреннего трения.

Из формул (5) и (6) вытекает, что при увеличении размера выпускного отверстия движущая сила  $F_{ДВ}$  возрастает быстрее, чем сопротивление  $F_f$ , так как первая зависит от площади выпускного отверстия, а вторая от его периметра. Отсюда следует, что с увеличением размеров выпускного отверстия скорость истечения материала при нормальном виде истечения должна расти в зависимости от соотношения  $\omega_{оме} / L$  [10]. Это подтверждает зависимость скорости истечения пеллет от диаметра выпускного отверстия (рис. 2). Однако необходимо отметить, что при диаметре от 0,04 до 0,045 экспериментальные значения несколько ниже теоретических. Истечении пеллет при этих диаметрах происходило прерывисто в течении всего цикла. Очевидно, использование этих диаметров при конструировании пеллетной горелки не эффективно.

При диаметре 0,06 м выпускного отверстия в заполненном бункере при открытии в первоначальный момент наблюдали нормальную форму истечения, затем зона движущихся частиц груза расширялась, образуя так называемый объем обрушения. Когда границы объема обрушения достигали стенок бункера, возникала сплошная форма истечения. Очевидно, внутри бункера образуются зоны застоя имеющие очень большой угол наклона к горизонтали ( $\alpha = 70 - 80^\circ$ ) при пропуске пеллет через выпускное отверстие. Этим и объясняется разница в значениях скорости истечения при этом диаметре, так как в расчете использовали выражение (4) для нормальной формы истечения.

В результате экспериментов получены данные, устанавливающие связь между производительностью истечения  $Q_0$  и диаметром выпускного отверстия  $R$  для исследуемых пеллет (рис. 3).

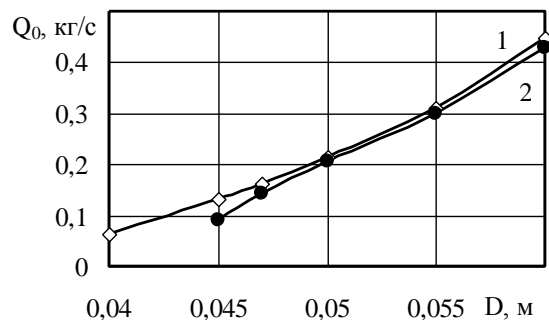


Рис. 3. Зависимости производительности истечения пеллет от диаметра выпускного отверстия: 1 – из лозги подсолнечника; 2 – из сосны

Пропускная способность загрузочного окна может быть определена по формуле [11]:

$$Q_0 = \rho_n v, \quad (7)$$

где  $\rho_n$  – насыпная плотность пеллет;  $v$  – скорость истечения пеллетного топлива через загрузочное окно (4).

Подставив (4) в (7), получим:

$$Q_0 = \rho_n \lambda \sqrt{3,2gR}. \quad (8)$$

Представленная зависимость указывает на то, что производительность истечения пеллет близка по своим значениям. На основании представленных выше исследований установлено, что наилучшими топливными характеристиками и физико-механическими свойствами обладают пеллеты, полученные из сосны.

**Вывод.** 1. Получила дальнейшее развитие методика расчета транспортных газогенераторных установок, позволяющая определять параметры загрузочного окна пеллетной горелки объемного типа.

2. Полученные расчетные величины пеллетной горелки указывают на возможность расположения ее под кузовом автомобиля.

3. В результате расчета определена зависимость производительности истечения пеллет от диаметра выпускного отверстия.

#### Л и т е р а т у р а

1. Самылин А.А., Яшин М.А. Современные конструкции газогенераторных установок // ЛесПромИнформ. – 2009. - №1 (59). – С. 78-85.

2. Гелетуа Г.Г., Железная Т.А. Обзор технологий газификации биомассы // Экотехнологии и ресурсосбережение. - 1998. - № 2. - С. 21-29.

3. Самылин А.А. Автомобильный газогенератор – технология будущего // ЛесПромИнформ. – 2005. - №8 (30). – С. 80-84.

4. Шевченко Д.Ю. Направление работ по усовершенствованию газогенераторных установок для промышленного транспорта / Д.Ю. Шевченко // Вісник Східноукраїнського національного університету імені В. Даля, 2013, - №9 (198). - Частина 1, Луганськ, 2010. – С. 254-261.

5. Григорьев А.М. Винтовые конвейеры. – М.: Машиностроение 1972. – 184 с.

6. Омельченко О.О., Куцын Л.М. Кормораздаточные устройства. – М.: Машиностроение, 1971. – 208 с.

7. Обертышев А.И. Влияние длины загрузочного окна шнекового транспортера на потребную мощность // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1966. - № 4.

8. Исаев Ю.М., Губейдулин Х.Х., Аксенова Н.Н., Влияние длины загрузочного окна на параметры пружинного транспортера // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2006. - № 11. – С.9.

9. Красников В.В. Подъемно-транспортные машины / В.В. Красников. – М.: Колос, 1981. – 263 с.

10. Горфин О.С. Машины и оборудование по переработке торфа. Часть 1. Производство торфяных брикетов. Учебник. Изд. второе дополненное и переработанное / О.С. Горфин, А.В. Михайлов. – Тверь. ТвГТУ, 2013. 226 с.

11. Оборудование для переработки сыпучих материалов: учебное пособие \ В.Я. Борщов, Ю.И. Гусев, М.А. Промов, А.С. Тимонин. – М. : “Издательство Машиностроение-1”, 2006. – 208 с.

#### References

1. Samylin A.A. YAshin M.A. Sovremennyye konstrukcii gazogeneratornykh ustanovok // LesPromInform. – 2009. - №1 (59). – S. 78-85.

2. Geletuha G.G., Zheleznyaya T.A. Obzor tekhnologiy gazifikatsii biomassy // ENKotekhnologii i resursosberezhenie. - 1998. - № 2. - S. 21-29.

3. Samylin A.A. Avtomobil'nyj gazogenerator – tekhnologiya budushchego // LesPromInform. – 2005. - №8 (30). – S. 80-84.

4. Shevchenko D.Y. The direction of the work on the improvement of gas plants for industrial vehicles / D.Y. Shevchenko // News Shidnoukrainskogo natsionalnogo universitetu imeni V. Dalya 2013. - №9 (198). - 1 Chastina, Luhansk, 2010. - P. 254-261.

5. Grigor'ev A.M. Vintovyye konveyery. – М.: Mashinostroenie 1972. – 184 s.

6. Omel'chenko O.O., Kucyn L.M. Kormorazdatochnyye ustrojstva. – М.: Mashinostroenie, 1971. – 208 s.

7. Obertyshev A.I. Vliyaniye dliny zagruzochnogo okna shnekovogo transportera na potrebnuyu moshchnost' // Mekhanizatsiya i ehlektrifikatsiya sel'skogo hozyajstva. –1966. - № 4.

8. Isaev YU.M., Gubejdulin H.H., Aksenova N.N., Vliyaniye dliny zagruzochnogo okna na parametry pruzhinnogo transportera // Mekhanizatsiya i ehlektrifikatsiya sel'skogo hozyajstva. – 2006. - № 11. – S.9.

9. Krasnikov V.V. Pod'emno-transportnyye mashiny / V.V. Krasnikov. – М.: Kolos, 1981. – 263 s.

10. Gorfin O.S. Mashiny i oborudovaniye po pererabotke torfa. CHast' 1. Proizvodstvo torfyanykh briketov. Uchebnik. Izd. vtoroe dopolnennoe i pererabotannoe / O.S. Gorfin, A.V. Mihajlov. – Tver'. TvGTU, 2013. 226 s.

11. Oborudovaniye dlya pererabotki sypuchih materialov: uchebnoye posobie \ V.YA. Borshchov, YU.I. Gusev, M.A. Promov, A.S. Timonin. – М. : “Izdatel'stvo Mashinostroenie-1”, 2006. – 208 s.

**Gubacheva L.A., Shevchenko D. Y.**

#### CAPACITY OF THE LOADER WINDOW OF AUTOMOBILE GAS GENERATOR DEPENDING ON THE SPEED OF PELLET EXPOSURE

*The effect of the size of the hopper outlet on the exhaust velocity is investigated. Determined the type of discharge. The results of experimental and theoretical expiration data for husks of sunflower and pine are presented. The method for calculating the length of the loading window of the feeder of an automobile gas generator is substantiated. As a result of the experiments, data were obtained that established a relationship between the flow rate of  $Q_0$  and the diameter of the outlet  $R$  for the pellets under study.*

**Key words:** *automobile gas generator, biofuel, pellets, volumetric combustion torch, loading window, feeder.*

**Губачёва Лариса Александровна**, д.т.н., проф., зав. кафедрой «Промышленный и городской транспорт» ГОУ ВПО ЛНР Луганский национальный университет имени Владимира Даля, г. Луганск  
**E-mail:** gubacheva\_snu@bk.ru

**Gubacheva Larisa Alexandrovna**, Dr. Tech. Sc., Professor of the «Industrial and urban transport» State Educational Establishment of Higher Professional Education «Lugansk Vladimir Dahl National University».  
**E-mail:** gubacheva\_snu@bk.ru

**Шевченко Дарья Юрьевна**, старший преподаватель кафедры промышленный и городской

транспорт, ГОУ ВПО ЛНР Луганский национальный университет имени Владимира Даля, г. Луганск  
**E-mail:** shevchenkodu@mail.ru

**Shevchenko Darya Yurievna.**, Senior Lecturer of the «Industrial and urban transport» State Educational Establishment of Higher Professional Education «Lugansk Vladimir Dahl National University».  
**E-mail:** shevchenkodu@mail.ru

**Рецензент: Нечаев Григорий Иванович**, доктор технических наук, профессор, зав.каф. «Транспортные системы», ГОУ ВПО ЛНР «Луганский национальный университет имени Владимира Даля»

*Статья подана 30. 11. 2017*

УДК 677.017.636

**АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ПРОКОЛОВ ИГЛЫ НА СТРУКТУРУ ТКАНИ**

Дейнека И.Г.

**ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF PUNCTURE  
NEEDLES ON THE FABRIC**

Deineka I.G.

*В настоящее время в швейной отрасли модной тенденцией является отделка материалов и одежды машинной вышивкой. Она имеет ряд преимуществ в сравнении с другими способами нанесения изображения на ткань: износостойкость, разнообразную цветовую гамму, возможность изображать сложные рисунки, долговечность, высокую стойкость окраски ниток, даже после многократных стирок и долгого пребывания на солнце, объёмную фактуру, дорогой и эффектный вид.*

**Ключевые слова:** материал, иглы, стежки, исследования.

Технологический процесс нанесения рисунка на ткань в зависимости от типа плотности стежков предполагает большое количество проколов на единицу площади ткани. Так, например, для изготовления рисунка площадью 100 мм<sup>2</sup> крестообразным стежком плотностью 0,5 мм игла делает 7088 проколов. Поэтому актуальной проблемой остается изучение влияния проколов вышивальной иглы на структуру текстильного материала.

В процессе выполнения работ при соединении деталей текстильных изделий швейной машиной обоснованно используют оптимальный номер иглы [1-3]. Это, прежде всего, связано с наличием теоретических основ и объективных экспериментальных исследований в данном направлении, которые проводились специалистами-технологами на протяжении многих лет. К этому добавлялись такие знания, как ассортимент и природа швейных нитей, изменение разрывных характеристик, стойкость к истиранию по плоскости, температурные границы использования в случае синтетических составляющих, а также выбор технологических режимов соединения деталей, к которым включают вид швейного изделия, номер иглы и нити, длину стежка и т.п. [4-10].

Изучением степени повреждения ниток текстильного материала в зависимости от номера иглы занимались И.Г. Дейнека, Н.Л. Рябчиков [3] и др., но только с целью улучшения технологических характеристик самой иглы, типа её острия и т.д.

Остается неизученным вопрос влияния степени разрушения материала в процессе компьютерной вышивки.

Целью исследования является изучение степени негативного влияния многократных проколов машинной иглой на структуру ткани.

Для проведения теоретической части исследований была использована миллиметровая лента бумаги размером (50×200) мм, по ширине которой проводились проколы иглой определенного номера при учете длины стежка «А», которая равнялась 1, 2, 3 и 4 мм. Аналогичные закономерности были получены и при изучении влияния вышивальных игл таких номеров (диаметров), как 75 (0,75 мм); 80 (0,8 мм); 90 (0,9 мм) и 100 (1,0 мм).

Поскольку диаметр игл был разный, то площадь одного прокола  $S_0$  рассчитывалась по классической формуле, а именно:

$$S_0 = \frac{\pi d^2}{4}, \quad (1)$$

где  $d$  – диаметр иглы, мм<sup>2</sup>.

Так, для иглы № 75  $S_0 = 0,44$  мм<sup>2</sup>, а для иглы № 90  $S_0 = 0,64$  мм<sup>2</sup> и др.

Общая площадь рабочего образца  $S_1$  обосновывалась постоянной его шириной « $b$ », что равняется 50 мм и диаметром иглы « $d$ », а количество проколов при этом будет зависеть от длины стежка, то есть:

$$M = \frac{b}{A}, \quad (2)$$

где  $M$  – количество проколов, шт;  $b$  – ширина образца, мм;  $A$  – длина стежка, мм.

Например, если взять иглу № 90, то  $S_1 = (0,9 \times 50) = 45$  мм<sup>2</sup>, которая при  $A = 1$  сделает 50 проколов, разрушив при этом площадь  $S_2$  в 32 мм<sup>2</sup>, которая рассчитывается по формуле:

$$S_2 = M \times S_0, \quad (3)$$

где  $S_0$  – площадь одного прокола,  $\text{мм}^2$ ;  $M$  – количество проколов, шт.

Неразрушенная площадь  $S_3$ , представленная различием между  $S_1$  и  $S_2$ , то есть:  $45,0 - 32,0 = 13,0 \text{ мм}^2$ .

Теоретические исследования по разработанному методу были проведены для всех без исключения указанных номеров игл, которые наиболее часто используются в вышивальном процессе при указанных шагах стежков. Полученные результаты свидетельствуют о том, что самое большое влияние на степень разрушения выявляют иглы, диаметр которых возрастает от 0,75 до 1,0 мм при постоянном значении длины стежка. Но когда длину стежка менять от 1 до 4 мм, то в зависимости от диаметра иглы степень разрушения пробы резко уменьшается, что обосновывается количеством проколов для отдельно взятого случая. Так, если исследовать влияние иглы № 100 ( $d = 1,0 \text{ мм}$ ), то при длине стежка  $A = 1$  и длине шва («b») 50

мм получим 50 проколов, которые разрушат образец площадью  $39,5 \text{ мм}^2$ , а если  $A = 4$ , то будет сделано 12,5 проколов, то есть в четыре раза меньше, и площадь разрушения будет равняться всего  $9,86 \text{ мм}^2$ , уменьшившись тоже в четыре раза.

Указанные закономерности (табл.1) подтверждают гипотезу о том, что площадь разрушения образца при конкретном диаметре иглы полностью зависит от длины стежка и может быть рассчитана по формуле:

$$S_2 = \frac{\pi d^2 b}{4A}, \quad (4)$$

где  $d$  – диаметр иглы, мм;  $b$  – длина шва, мм;  $A$  – длина стежка, мм.

Аналогичные исследования были проведены с использованием указанных номеров игл, длины стежков и полисилоксановой пленки (СП), которая выступала в качестве физической модели.

Таблица 1

**Влияние проколов вышивальных игл на изменение площади разрушения пробы в зависимости от номера иглы и длины стежка (теоретически)**

Номер иглы N (диаметр d, мм)	Длина стежка A, мм	Площадь прокола от номера иглы $S_0$ , $\text{мм}^2$	Общая площадь пробы $S_1$ , $\text{мм}^2$	Количество проколов M, шт.	Площадь, разрушенная иглой $S_2$ , $\text{мм}^2$	Площадь, неразрушенная иглой $S_3$ , $\text{мм}^2$
75 (0,75)	1	0,44	37,5	50,0	22,0	15,5
	2			25,0	11,0	26,5
	3			16,7	7,35	30,15
	4			12,5	5,5	32,0
80 (0,8)	1	0,50	40,0	50,0	25,0	15,0
	2			25,0	12,5	27,5
	3			16,7	8,35	31,65
	4			12,5	6,25	33,75
90 (0,9)	1	0,64	45,0	50,0	32,0	13,0
	2			25,0	16,0	29,0
	3			16,7	10,7	34,3
	4			12,5	8,0	37,0
100 (1,0)	1	0,79	50,0	50,0	39,5	10,5
	2			25,0	19,75	30,25
	3			16,7	13,19	36,81
	4			12,5	9,86	40,14

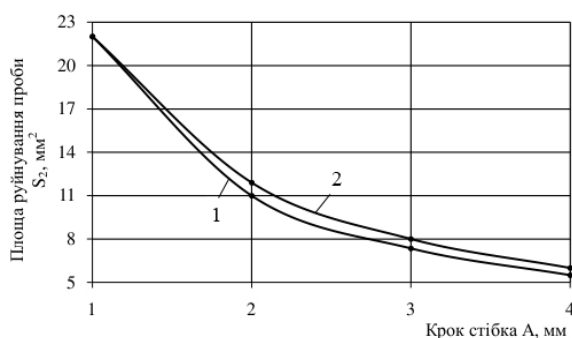
Экспериментальные данные показали, что изменение для всех номеров игл, в сравнении с теоретическими исследованиями, происходит в процессе образования проколов. В связи с этим разрушенную площадь  $S_2$  целесообразно рассчитывать по формуле (4), поскольку количество проколов при конкретной длине стежка будет зависеть от морфологически-структурного строения текстильного материала, а также технической возможности вышивальной машины, о чем свидетельствует проведенный эксперимент (табл. 2).

Так, если обобщить полученные результаты, то можно сделать вывод, что к самой большой площади разрушения приводят все взятые для эксперимента иглы при длине стежка 1 мм, последовательно уменьшаясь от его возрастающего значения. Поэтому наличие разрушительного фактора стежка очевидная и зависит как от номера (диаметра) иглы, так и от длины стежка  $A$ . Выявленные зависимости были проанализированы графически (рис. 1).

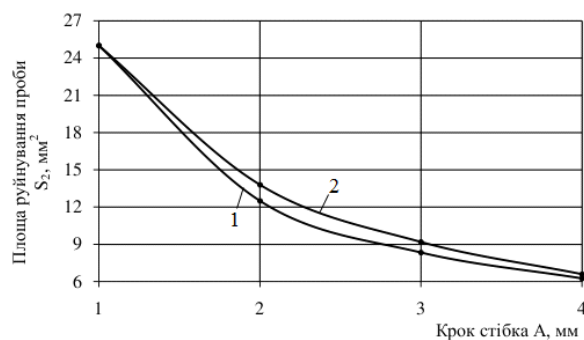
Таблица 2

**Влияние проколов вышивальных игл на изменение площади разрушения полисилоксановой пробы в зависимости от номера иглы и длины стежка (экспериментально)**

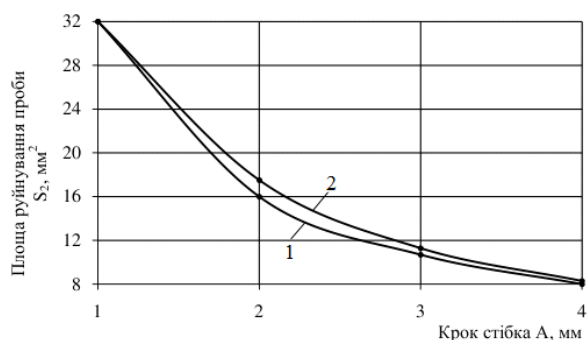
Номер вышивальной иглы N (диаметр d, мм)	Длина стежка A, мм	Площадь прокола от номера иглы S <sub>0</sub> , мм <sup>2</sup>	Общая площадь пробы S <sub>1</sub> , мм <sup>2</sup>	Экспериментальное количество проколов M, шт.	Площадь, разрушенная иглой S <sub>2</sub> ,		Площадь, неразрушенная иглой S <sub>3</sub> ,	
					мм <sup>2</sup>	%	мм <sup>2</sup>	%
75 (0,75)	1	0,44	37,5	50,0	22,0	58,7	15,5	41,3
	2			27,0	11,9	31,7	25,6	68,3
	3			18,0	8,0	21,4	29,5	78,6
	4			13,0	6,0	16,0	31,5	84,0
80 (0,8)	1	0,50	40,0	50,0	25,0	62,5	15,0	37,5
	2			28,0	13,8	34,5	26,2	65,5
	3			18,0	9,2	23,0	30,8	77,0
	4			13,0	6,6	16,5	33,4	83,5
90 (0,9)	1	0,64	45,0	51,0	32,0	72,5	13,0	27,5
	2			27,0	17,5	38,9	27,5	61,1
	3			18,0	11,3	25,1	33,7	74,9
	4			13,0	8,3	18,5	36,7	81,5
100 (1,0)	1	0,79	50	52,0	41,6	83,2	8,4	16,8
	2			28,0	22,4	44,8	27,6	55,2
	3			19,0	14,9	29,8	35,1	70,2
	4			12,0	9,3	18,6	40,7	81,4



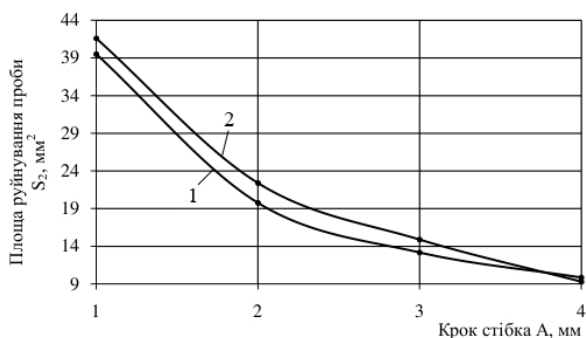
а



б



в



г

Рис. 1. Зависимость площади разрушения образцов (1 – теоретическая; 2 – экспериментальная) от длины стежка и номера иглы:  
а) – игла № 75; б) – игла № 80; в) – игла № 90; г) – игла № 100

Эксперименты показали также, что при  $A = 1$  степень разрушения образцов иглами № 75; 80 и 90 совпадает с теоретическими расчетами и равняется 22,0; 25,0; и 32,0 мм<sup>2</sup> соответственно (табл. 1; табл. 2; рис. 1, а, б, в). Но в том случае, когда длину стежка

увеличивать до 3 мм, то расхождения значений  $S_2$  между проведенными исследованиями становятся более существенными для всех номеров игл, особенно для № 100 (рис. 1, г).

Таким образом, следует отметить, что изменение величины площади разрушения как от номера иглы, так и от длины стежка находится не в прямой, а в параболической зависимости, которая свидетельствует о сложности процесса.

Проанализированные закономерности были получены только при моделировании одного шва. Но учитывая, что вышивка - это многостежковый технологический процесс с наличием большого количества проколов М на единицу площади материала, то на следующем этапе работы запланированы исследования, которые бы максимально характеризовали влияние иглы при действии указанного фактора с целью изучения влияния степени разрушения проколов вышивальной иглы на структуру ткани при наличии большого количества проколов на единицу площади пробы.

### Л и т е р а т у р а

1. Кукин Г.Н. Текстильное материаловедение / Г.Н. Кукин, А.Н. Соловьёв. – М.: Легкая индустрия. Ч. 3. – 1967. – 302 с.

2. Пищиков В.О. Проекування швейних машин / В.О. Пищиков, Б.В. Орловский. – К.: Изд-во Полиграфический дом «Формат». – 2007. – 320 с.

3. Рябчиков Н.Л. Розрахунок та конструювання машин легкої промисловості / Н.Л. Рябчиков, И.Г. Дейнека. – Л.: ВНУ им. В. Даля. – 2010. – 264 с.

4. Кукин Г.Н. Текстильное материаловедение / Г.Н. Кукин, А.Н. Соловьёв. – М.: Легкая индустрия. Ч. 2. – 1964. – 378 с.

5. Репка Г.А. Обґрунтування критеріїв оцінки руйнування зразків матеріалу вишивальними голками / Г.А. Репка, Е.А. Мазнев, А.А. Мьчко // Технологический аудит и резервы производства. – 2015. – № 2/4(22). – С. 39-44.

6. Беденко В.Е. О тепловом воздействии на нитку в процессе высокоскоростного шитья / В.Е. Беденко, М.И. Сухарев. // Известия вузов. Технология легкой промышленности. – 1969. – № 5. С. 115-119.

7. Белицин М.Н. Влияние различных факторов на механические свойства синтетических нитей / М.Н. Белицин // Проблемы физико-химической механики волокнистых пористых дисперсных структур и материалов. АН Латв. ССР. Рига. – 1988. – С. 44-52.

8. Белицин М.Н. Швейные нитки из синтетических волокон / М.Н. Белицин. – М.: Прядение, 1984, № 3. – С. 11-14.

9. Гайнулин Г.А. Исследование нагрева швейной машинной иглы в зависимости от ее геометрии / Г.А. Гайнулин // Известия легкой промышленности. – 1993. № 4. – С. 140-144.

10. Loglin R.D. Needle Temperature measurement by Infrared Pyrometry. – «Textile Research Journal», 1993. – Vol. 33, № 1. – P. 35-39.

### R e f e r e n c e s

1. Kukin, G. N. Materials science / G. N. Kukin, A. N. Soloviev. – M.: Light industry. Part 3. – 1967. – 302 p.

2. Pishchikov V. O. Proektuvannya shveynih machines / O. V. Pishchikov, B. V. Orlovsky. – K.: Publishing house Printing house "Format". – 2007. – 320 p.

3. Grouse N.L. Rozrahunkiv konstruyendo machines legco promislovist / N. L. Ryabchikov, I. G. Deineka. – L.: eunu named after V. Dal. – 2010. – 264 p.

4. Kukin, G. N. Materials science / G. N. Kukin, A. N. Soloviev. – M.: Light industry. Part 2. – 1964. – 378 p

5. Turnip G. A. Obrudovanija critera once ruynuvan srezku material visualname golemi / G. A. Repka, E. A. Maznev, A. A. Mychko // Technology audit and production reserves. – 2015. – № 2/4(22). – S. 39-44.

6. Bedenko, V. E., On the thermal effects on the thread in high speed sewing process / V. E. Bedenko, M. I. Sukharev. // IZESTIYA VUZOV. Technology of light industry. – 1969. – No. 5. S. 115-119.

7. Belizean M. N. The influence of various factors on the mechanical properties of synthetic fibres / M. N. Belizin // physicochemical mechanics of fibrous porous dispersed structures and materials. An Latv. SSR. Riga. – 1988. – S. 44-52.

8. Belizean M. N. Sewing thread of synthetic staple fibres / M. N. Belizean. – M.: Spinning, 1984, No. 3. – S. 11-14.

9. Co G. A. a study of the heating of sewing machine needles, depending on its geometry / A. G. co // proceedings of the light industry. – 1993. No. 4. – P. 140-144.

10. Loglin R. D. Needle Temperature measurement by Infrared Pyrometry. – "Textile Research Journal", 1993. – Vol. 33, No. 1. – P. 35-39.

**Deyneka I.G.**

### ANALYSIS OF THE EFFECT OF A PUNCTURE NEEDLE INTO THE FABRIC

*Currently, the apparel industry fashion trend is the processing of materials and clothing with machine embroidery. It has a number of advantages over other methods of printing images on fabric: wear resistance, various colors, the ability to depict complicated drawings, long-term, high color fastness threads, even after repeated washings and long exposure to the sun, three-dimensional texture, expensive and spectacular view.*

**Key words:** material, needles, stitches, and research.

**Дейнека Иннеса Григорьевна**, проф., д.т.н., зав. кафедрой легкой и пищевой промышленности, ГОУ ВПО ЛНР «Луганский национальный университет им. В. Даля».

**E-mail:** igdeineka@yandex.ru.

**Deineka Innesa Grigoryevna**, prof., Doctor of Technical Sciences, Head. Chair of Light and Food Industry, GOU VPO LNR "Lugansk National University. V. Dahl.

**E-mail:** igdeineka@yandex.ru.

**Рецензент: Витренко В.А.** проф. д.т.н., проректор по научной работе и инновационной деятельности Луганского национального университета им. В. Даля.

*Статья подана 10.11.2017*

УДК 621.225

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКОГО УСИЛИТЕЛЯ С СОПЛОМ-ЗАСЛОНКОЙ В УПРАВЛЯЮЩЕМ КАСКАДЕ

Коваленко А.А., Чубарова И.А., Левенцев М. В.

## MATHEMATICAL MODEL OF HYDRODYNAMIC CHARACTERISTICS OF ELECTROHYDRAULIC AMPLIFIER WITH FLAPPER-NOZZLE IN THE CONTROLLING CASCADE

Alim A. Kovalenko, Irina A. Chubarova, Maksim V. Leventsev

*Рассмотрена математическая модель гидравлических характеристик электрогидравлического усилителя с соплом-заслонкой в управляющем каскаде, обеспечивающего качественные показатели систем управления гидрофицированным оборудованием с сохранением эксплуатационных показателей. В процессе интегрирования математической модели получены амплитудно-частотная и переходная характеристики, на основе которых представлены выводы проведенных теоретических исследований.*

**Ключевые слова:** электрогидравлический усилитель, математическая модель, гидродинамические характеристики, уравнения, гидродинамическая сила, сжимаемость, заслонка, сопло.

**Ведение.** Высокие темпы наращивания производственных мощностей и расширение сортамента стальных труб в последние годы обусловлены быстрым развитием трубопроводного транспортирования газообразных, жидких и сыпучих сред и других отраслей машиностроения. Изучение опыта производства стальных труб показывает, что технология и оборудование действующих цехов и заводов по многим показателям пока уступает лучшим образцам зарубежной техники [1].

Наиболее значительны отличия по таким показателям как удельный расход металла, уровень механизации и автоматизации, производительность труда, качество труб. В ряде случаев действующая техника и технология не позволяют получать необходимое количество и качество выпускаемых труб.

Одним из наиболее важных элементов автоматизации является электрогидравлический усилитель ЭГУ с соплом-заслонкой в управляющем каскаде как наиболее распространенный в настоящее время.

**Целью настоящей работы** является составление математической модели

гидродинамических характеристик с учетом основных уравнений, описывающих электрогидравлический усилитель ЭГУ.

Чтобы описать динамические характеристики электрогидравлического усилителя, воспользуемся расчетной схемой, приведенной на рис. 1, на основе которой составим уравнения математической модели динамических характеристик ЭГУ, приведенные ниже, при этом примем следующие допущения [2, 3]:

— пренебрегаем магнитным гистерезисом и сухим трением в ЭМП, которые в реальных устройствах пренебрежительно малы;

— пренебрегаем динамикой клапана давления, т.е. давление на входе в систему управления постоянно во времени;

— постоянные дроссели являются ламинарными дросселями ( $Re_{max} = 540$ );

— в математической модели описан ненагруженный ЭГУ (давления питания  $p_n$  и слива  $p_{сл}$  постоянны во времени);

— сухое трение и облитерация не учитываются т.к. на входной сигнал для РП16 накладывается осциллирующий сигнал (200 Гц).

Уравнения движения подвижных частей электромеханического преобразователя (ЭМП):

$$m_{я} \frac{d^2 h_1}{dt^2} + k_{мпя} \frac{dh_1}{dt} + c_{нпя} h_1 = k_{PI} I - P_{ГД_{C1}} \quad (1)$$

$$m_{я} \frac{d^2 h_2}{dt^2} + k_{мпя} \frac{dh_2}{dt} + c_{нпя} h_2 = k_{PI} I - P_{ГД_{C2}} \quad (2)$$

где  $m_{я}$  – приведенная масса якоря и всех связанных с ним подвижных частей ЭМП,



$k_{mpя}$  – коэффициент жидкостного трения якоря,  
 $c_{npя}$  – коэффициент жесткости упругих элементов ЭМП,  
 $k_{pI}$  – коэффициент, связывающий тяговое усилие  $P_я$ , развиваемое якорем и ток управления  $I$ ,  
 $F_c$  – площадь проходного сечения сопла,  
 $h_1, h_2$  – перемещения правой и левой по схеме заслонки,  
 $p_{y1}, p_{y2}$  – давления управления в левой и правой части, соответственно.

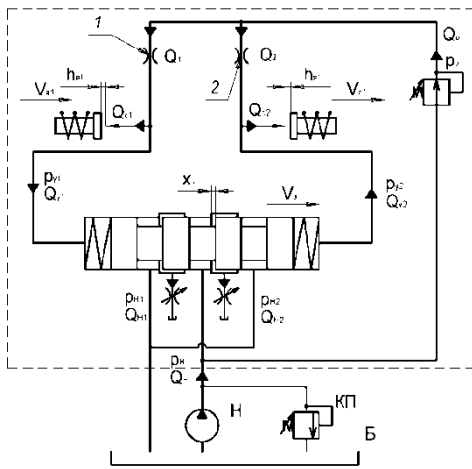


Рис. 1. Расчетная схема для моделирования гидрораспределителя РП16

Гидродинамическая сила, воздействующая на заслонку:

$$P_{ГДc} = (p_y - p_{сл})F_c \left[ 1 + (1 - \zeta) \left( \frac{4\mu_c h}{d_c} \right)^2 \right] \quad (3)$$

где  $\mu_c$  – коэффициент расхода сопла,  
 $\zeta$  – коэффициент местного сопротивления сопла, значение которого для регулирующих устройств равно 0,3 – 0,6,  
 $d_c$  – диаметр сопла,  
 $h$  – расстояние между соплом и заслонкой.

Уравнение движения золотника ЭГУ с учетом действия гидродинамических сил и сжимаемости рабочей жидкости:

$$m_3 \frac{d^2 x_3}{dt^2} + k_{mp3} \frac{dx_3}{dt} + c_{np3} x_3 + \sum_{i=1}^4 P_{ГДи} = (p_{y1} - p_{y2})F_3 \quad (4)$$

где  $m_3$  – масса золотника,  
 $k_{mp3}$  – коэффициент жидкостного трения,

$c_{np3}$  – коэффициент упругости пружин золотника,  
 $P_{ГДи}$  – гидродинамические силы, действующие на золотник,  
 $F_3$  – площадь торца золотника,  
 $x_3$  – перемещение золотника.

Гидродинамические силы, действующие на золотник:

$$P_{ГД1} = \begin{cases} 0,72\mu\pi d_3 x_3 (p_n - p_{н1}) + \rho l \frac{dQ_1}{dt}; & x_3 < 0; \\ 0; & x_3 \geq 0; \end{cases} \quad (5)$$

$$P_{ГД2} = \begin{cases} -0,72\mu\pi d_3 x_3 (p_n - p_{н2}) + \rho l \frac{dQ_2}{dt}; & x_3 > 0; \\ 0; & x_3 \leq 0; \end{cases} \quad (6)$$

$$P_{ГД3} = \begin{cases} -0,72\mu\pi d_3 x_3 (p_{н1} - p_{сл}) + \rho l \frac{dQ_3}{dt}; & x_3 > 0; \\ 0; & x_3 \leq 0; \end{cases} \quad (7)$$

$$P_{ГД4} = \begin{cases} 0,72\mu\pi d_3 x_3 (p_{н2} - p_{сл}) + \rho l \frac{dQ_4}{dt}; & x_3 < 0; \\ 0; & x_3 \geq 0; \end{cases} \quad (8)$$

где  $P_{ГД1}, P_{ГД2}, P_{ГД3}, P_{ГД4}$  – соответствующие гидродинамические силы (рис.3).

$\mu$  – коэффициент расхода щели золотника,  
 $\rho$  – плотность рабочей жидкости,  
 $d_3$  – диаметр золотника,  
 $l$  – осевая проекция длины участка изменения расходов,  
 $p_n$  – давление питания насосной станции,  
 $p_{сл}$  – давление слива,  
 $p_{н1}, p_{н2}$  – давления в левой и правой полости исполнительного механизма,  
 $Q_1, Q_2, Q_3, Q_4$  – соответствующие расходы, показанные на рис. 2.

$$Q_{y1} - F_3 \frac{dx_3}{dt} = \frac{V_y}{E} \frac{dp_{y1}}{dt} - \frac{\delta^3 \pi d_3}{12\mu\partial} \frac{(p_{y1} - p_{сл})}{(l_n - x_3)}, \quad (9)$$

$$Q_{y2} - F_3 \frac{dx_3}{dt} = \frac{V_y}{E} \frac{dp_{y2}}{dt} - \frac{\delta^3 \pi d_3}{12\mu\partial} \frac{(p_{y2} - p_{сл})}{(l_n - x_3)}, \quad (10)$$

где  $Q_{y1}, Q_{y2}$  – расходы управления в левой и правой по схеме линии соответственно,  
 $V_y$  – объем полости управления,  
 $E$  – модуль упругости рабочей жидкости,  
 $\delta$  – осевой зазор между золотником и втулкой,

$\mu_{\partial}$  – коэффициент динамической вязкости рабочей жидкости,  
 $l_n$  – длина уплотняющего пояска золотника.

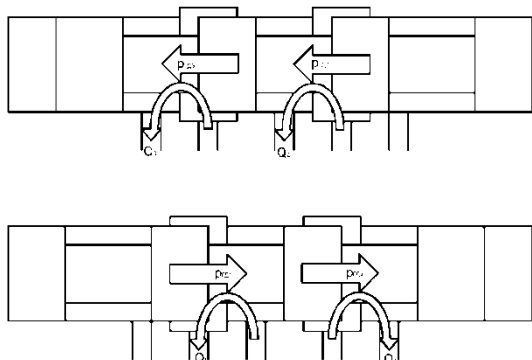


Рис. 2. Схема действия гидродинамических сил  
 Учет сжимаемости жидкости:

Уравнение неразрывности в точках а и б:

$$Q_{y1} = Q_1 - Q_{c1}, \quad (11)$$

$$Q_{y2} = Q_{c2} - Q_2, \quad (12)$$

где  $Q_1, Q_2$  – общие расходы на управление в левой и правой ветви управления соответственно,

$Q_{c1}, Q_{c2}$  – расходы через левое и правое сопло,

Расходы рабочей жидкости через постоянные дроссели:

$$Q_1 = \alpha(p_0 - p_{y1}), \quad (13)$$

$$Q_2 = \alpha(p_0 - p_{y2}), \quad (14)$$

где  $\alpha$  – коэффициент проводимости ламинарных дросселей,

$p_0$  – давление настройки редукционного клапана.

Расходы рабочей жидкости через переменные дроссели типа сопло-заслонка[5]:

$$Q_{c1} = \mu_{c1} \pi d_c (h_{\max} - h_1) \sqrt{\frac{2}{\rho} (p_{y1} - p_{cl})}, \quad (15)$$

$$Q_{c2} = \mu_{c2} \pi d_c (h_{\max} + h_2) \sqrt{\frac{2}{\rho} (p_{y2} - p_{cl})} \quad [1,2], (16)$$

где  $\mu_{c1}, \mu_{c2}$  – коэффициенты расхода левого и правого сопла,

$d_c$  – диаметр сопла,

$h_1, h_2$  – перемещения заслонок,

$h_{\max}$  – максимальное отклонение заслонок от центрального положения.

Коэффициенты расхода через сопла

$$\mu_{c1} = \left( 0,76 + \frac{h_1}{d_c} \right) \left( 1 - e^{-\frac{Re1}{75}} \right); \quad (17)$$

$$\mu_{c2} = \left( 0,76 - \frac{h_2}{d_c} \right) \left( 1 - e^{-\frac{Re2}{75}} \right). \quad (18)$$

Числа Рейнольдса для сопел:

$$Re1 = \frac{Q_{c1}}{2\pi d_c \nu}; \quad (19)$$

$$Re2 = \frac{Q_{c2}}{2\pi d_c \nu}. \quad (20)$$

где  $\nu$  – кинематическая вязкость рабочей жидкости.

Таким образом, уравнения 1-20 представляют собой математическую модель гидромеханических характеристик, с учетом приведенных выше допущений. Интегрирование математической модели выполнено с помощью разработанной программы “model”, представляющей систему зависимостей, описывающих основные процессы работы гидрораспределителя РП16. Получена амплитудно-частотная и переходная характеристики [4] гидрораспределителя РП16 (рис. 3, 4)

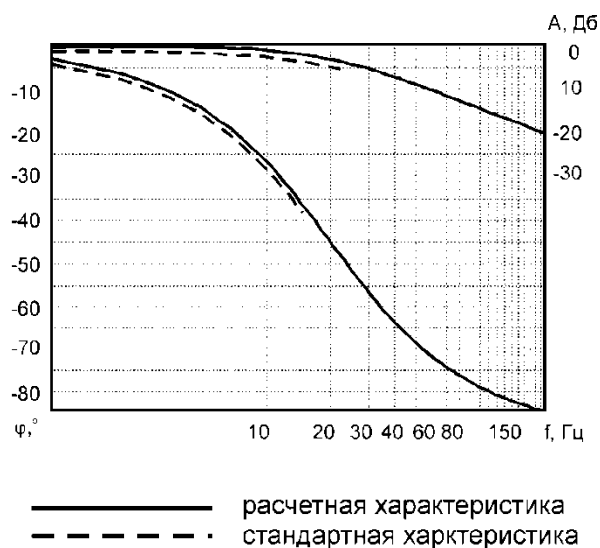


Рис. 3. Амплитудно-фазовая характеристика пропорционального гидрораспределителя

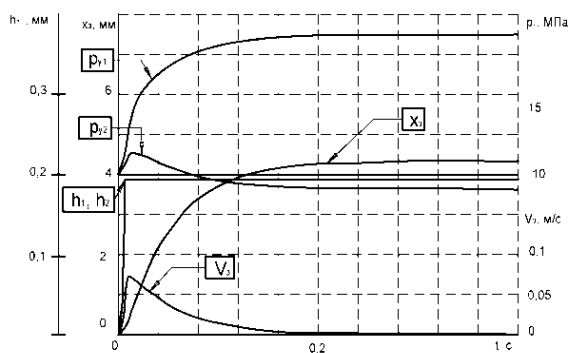


Рис. 4. Переходной процесс пропорционального гидрораспределителя

Исходя из амплитудно-фазовой характеристики, можно сделать заключение, что при сдвиге фаз  $\varphi = 45^\circ$  частота среза ЭГУ  $f = 19,8$  Гц, полоса пропускания при амплитудном отношении – 3 Дб – 23 Гц. Сравнивая полученную математическим моделированием частоту среза с экспериментальными данными можно сделать заключение, что математическая модель динамических характеристик с большой степенью точности описывает рабочие процессы моделируемого объекта, и модель может быть положена в основу дальнейших исследований по оптимизации параметров ЭГУ.

**Выводы.**

На основе проведенных теоретических исследований можно сделать следующие выводы:

1. Разработана математическая модель и программа реализации на ЭВМ рабочего процесса с учетом ряда параметров, ранее не учитывающихся при составлении подобных моделей (сжимаемость рабочей жидкости, гидродинамическая сила, действующая на золотник, нелинейное изменение расхода через сопло при изменении хода заслонки, зависимость изменения гидродинамической силы, действующей на заслонку, от ее перемещения).

2. Разработаны блок-схемы и программы расчетов характеристик ЭГУ.

3. Пробные расчеты, выполненные на разработанной математической модели, подтвердили ее непротиворечивость и пригодность для анализа и разработки путей совершенствования ЭГУ, с целью повышения эффективности электрогидравлического привода.

**Л и т е р а т у р а**

1. Лисовский А.В. Состояние и перспективы технического перевооружения металлургических предприятий. // «Теория и практика металлургии». – К., – 1999.

2. Гидравлика, гидравлические, пневматические машины и системы приводов / Коваленко А.А., Андрийчук Н.Д., Гусенцова Я.А.- Луганск, из-во ЛНУ им. В. Даля, 2017. – 582 с.

3. Коваленко А.А. Гидравлика и гидropневмоприводы / Коваленко А.А., Соколов В.И.,

Ремень В.И.- Луганск, Изд-во ВНУ им. В. Даля, 2008. – 320 с.

4. Чубарова И.А. Стенды для экспериментальных исследований характеристик ЭГУ / Чубарова И.А. // Луганского национального университета имени Владимира Даля, №3, 2017. –с. 93-97.

5. Handbook of Fluid in Motion // Nicolas P., Cheremisinoff, Ramesh Gupta – Ann Arbor Science Publisher, – New York, – 1983.

**References**

1. Lisovskij A.V. Sostoyanie i perspektivy tekhnicheskogo perevooruzheniya metallurgicheskikh predpriyatij. // «Теория и практика металлургии». – К., – 1999.

2. Gidravlika, gidravlicheskie, pnevmaticheskie mashiny i sistemy privodov / Kovalenko A.A., Andriychuk N.D., Gusencova YA.A.- Lugansk, iz-vo LNU im. V. Dalya, 2017. – 582 s.

3. Kovalenko A.A. Gidravlika i gidropnev-moprivody / Kovalenko A.A., Sokolov V.I., Remen' V.I.- Lugansk, Izd-vo VNU im. V. Dalya, 2008. – 320 s.

4. Chubarova I.A. Stendy dlya ehksperimen-tal'nyh issledovaniy harakteristik EHGU / Chubarova I.A. // Luganskogo nacional'nogo universiteta imeni Vladimira Dalya, №3, 2017. –s. 93-97.

5. Handbook of Fluid in Motion // Nicolas P., Cheremisinoff, Ramesh Gupta – Ann Arbor Science Publisher, – New York, – 1983.

**Alim A. Kovalenko, Irina A. Chubarova, Maksim V. Leventsev**

**MATHEMATICAL MODEL OF HYDRODYNAMIC CHARACTERISTICS OF ELECTROHYDRAULIC AMPLIFIER WITH FLAPPER-NOZZLE IN THE CONTROLLING CASCADE**

*The mathematical model of the hydraulic characteristics of the electro-hydraulic amplifier with flapper-nozzle in the controlling cascadeof, ensure future quality indicators of control systems the hardware and maintain the performance. In the process of integration of the mathematical model the amplitude-frequency and transitional characteristics were obtained, based on which the findings of theoretical studies were presents.*

**Key words:** electro-hydraulic power, mathematical model, hydrodynamic characteristics, equations, hydrodynamic force, valve, nozzle.

**Коваленко Алим Алексеевич** – кандидат технических наук, профессор кафедры «Гидрогазодинамика» Луганского национального университету имени Владимира Даля, г. Луганск. Научные интересы: математическое моделирования гидромеханических процессов в гидроприводах различного назначения, процессы тепло- и массообмена.  
**E-mail:** azazello102@gmail.com

**Kovalenko Alim** – Ph.D., Professor of "Fluid Dynamics" Lugansk National University named after Vladimir Dal, Lugansk.

**E-mail:** azazello102@gmail.com

**Чубарова Ирина Анатольевна** – аспирант кафедры «Гидрогазодинамика» Луганского национального университету имени Владимира Даля, г. Луганск. Научные интересы: математическое моделирования

гидромеханических процессов в гидроприводах различного назначения.

**E-mail:** ira33385@mail.ru

**Chubarova Irina** – a Postgraduate Student of the Department "Fluid Dynamics" Lugansk National University named after Vladimir Dal, Lugansk.

**E-mail:** ira33385@mail.ru

**Левенцев Максим Валерьевич** - аспирант кафедры «Гидрогазодинамика» Луганского национального университета имени Владимира Даля, г. Луганск. Научные интересы: математическое моделирование гидромеханических процессов в гидроприводах различного назначения.

**E-mail:** capsula\_lg@yahoo.com

**Leventsev Maxim** - post-graduate student of the department "Hydro-gas dynamics" of the Luhansk National University named after Vladimir Dahl, Lugansk. Scientific interests: mathematical modeling of hydromechanical processes in hydraulic drives of various purposes

**E-mail:** capsula\_lg@yahoo.com

**Рецензент:** *Гусенцова Яна Алимовна*, доктор технических наук, профессор, Луганский национальный университет имени Владимира Даля.

*Статья подана 28.11.2017г.*

УДК 678.027.94:677

## АНАЛИЗ И РАСЧЕТ ПРОТЯГИВАЮЩЕГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ УГЛЕКОМПОЗИТНЫХ СТЕРЖНЕЙ МЕТОДОМ ПУЛТРУЗИИ

Коструб В.А., Панфилов А.М., Шенкман Г.Л.

## ANALYSIS AND CALCULATION OF THE BROACHING DEVICE FOR THE MANUFACTURE OF CARBON-COMPOSITE RODS BY THE PULTRUSION METHOD

Kostrub V.A., Panfilov A.M., Shenkman G.L.

*Рассмотрен процесс изготовления углекомпонитных стержней методом пултрузии, проведен анализ протягивающего устройства, получены рекомендации по его конструктивно-аппаратному оформлению с целью обеспечения неповреждаемости арматуры, определен диаметр ролика.*

**Ключевые слова:** пултрузия, углекомпонитный стержень, протягивающее устройство, усилие протяжки.

**Введение.** В последние годы широкое применение находят стержни, трубы, профили и другие конструктивные элементы, изготовленные из волокнистых полимерных композитов пултрузией, т.е. путем непрерывного протягивания армирующего материала, пропитанного связующим, сквозь профилирующую фильеру или несколько (каскад) фильер, причем формирующим элементом является фильера.

При изготовлении изделий из композиционных материалов их основные свойства закладываются в процессе технологической переработки и во многом определяются режимами и методами проведения ее отдельных этапов [1, 2]. Особенности проведения операций технологического процесса обусловлены рядом причин: использованием в качестве армирующего материала легкоповреждаемых углеродных жгутов, совмещаемых со связующим из высокомолекулярного линейного полимера, с достижением высокой степени армирования, непрерывностью метода изготовления углеродных стержней при пултрузии [3].

**Цель и задачи исследования.** Изготовление углекомпонитных стержней методом пултрузии осуществляется с помощью установки, принципиальная схема которой показана на рис. 1.

Установка для изготовления УС методом пултрузии работает следующим образом. Бобины со

жгутами УВ устанавливаются на шпулярнике 1, с помощью направляющего ролика сводятся на один уровень и протягиваются через технологические узлы установки.

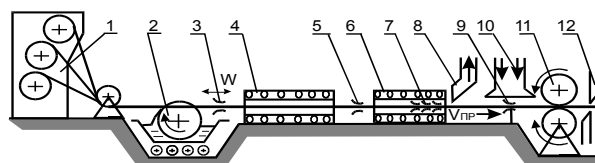


Рис. 1. Принципиальная схема установки:

- 1 – шпулярник; 2 – устройство для пропитки;
- 3а – отжимная фильера (Ф1); 4 – термокамера сушки;
- 5 – приформовывающая фильера (Ф2); 6 – термокамера;
- 7 – формирующие фильеры (Ф3); 8 – вытяжка;
- 9 – калибрующая фильера (Ф4); 10 – охлаждение;
- 11 – узел протяжки; 12 – резак

При движении над ванночкой с ПВС-связующим с помощью «купающегося» ролика 2 на жгуты УВ наносится связующее, излишек которого удаляется отжимной фильерой 3 и возвращается в ванночку. Для улучшения условий пропитки-отжима фильере 3 придается возвратно-поступательное движение вдоль собранных в пучок жгутов. Полученный полуфабрикат поступает в камеру сушки 4, где подсушивается до критической точки. На выходе из камеры сушки полуфабрикат приформовывается фильерой 5 и поступает в термокамеру 6, где удаляется остаток воды и ПВС разогревается до температуры плавления и формируется фильерами 7. Для поддержания постоянного значения влажности в камерах сушки и термообработки предусмотрена вытяжка 8. На этапе охлаждения стержня его поперечное сечение калибруется фильерой 9. Ускорение процесса охлаждения стержня обеспечивает вентилятор 10. Скорость процесса регулируется узлом протяжки

11, после чего стержни разрезаются на заданную длину резакон 12.

Основными требованиями, предъявляемыми к конструкции протягивающего устройства, являются обеспечение стабильной скорости протяжки углеродного стержня без повреждения, простота в обслуживании и надежность в работе.

Скорость протяжки,  $a$ , следовательно, производительность технологического процесса, определяется протягивающим устройством. Приложение к стержню усилий, при которых необратимо деформируется его сечение, недопустимо. Слабое обжатие стержня может приводить к проскальзыванию стержня в тянущем узле устройства или к остановке движения при колебаниях усилий сопротивления на этапах техпроцесса, что, в свою очередь, ведет к нарушению технологических режимов переработки полуфабриката, а, следовательно, к получению брака. Поэтому усилие, прикладываемое к стержню со стороны тянущего узла устройства, должно исключать возможность его проскальзывания, при этом обжатие его не должно превышать напряжений упругого деформирования сечения углеродного стержня. Эти требования могут быть реализованы в конструкции, где протяжка осуществляется резиновыми роликами.

Целью работы является определение величины усилий протягивания, исключающих повреждение стержня в формовочно-полимеризационном тракте и выработка рекомендаций по оптимизации процесса и конструктивных параметров оборудования.

**Материалы и результаты исследования.** На основании теоретического анализа напряженного состояния стержня при протяжке обрешиненными роликами из условия упругого деформирования углеродного стержня при протягивании определим минимально допустимый диаметр резиновых роликов протяжного механизма.

При протяжке стержень может обжиматься резиновыми роликами до их соприкосновения, дальнейшее сжатие неэффективно. Если создаваемое при этом усилие недостаточно, необходимо устанавливать дополнительную пару роликов с кинематической связью. Чтобы исключить появление изгибающей нагрузки необходимо в паре устанавливать ролики одного диаметра, их оси должны быть параллельны и лежать в плоскости, перпендикулярной протягиваемому стержню. Считая предельно допустимым положение резиновых роликов, при котором они соприкасаются по образующей ( $\delta = d/2$ ), из геометрических соотношений определим взаимосвязь между диаметрами ролика ( $D$ ), стержня ( $d$ ) и длиной полуоси ( $a$ ) эллиптического контура контакта ролика и стержня (рис. 2, а).

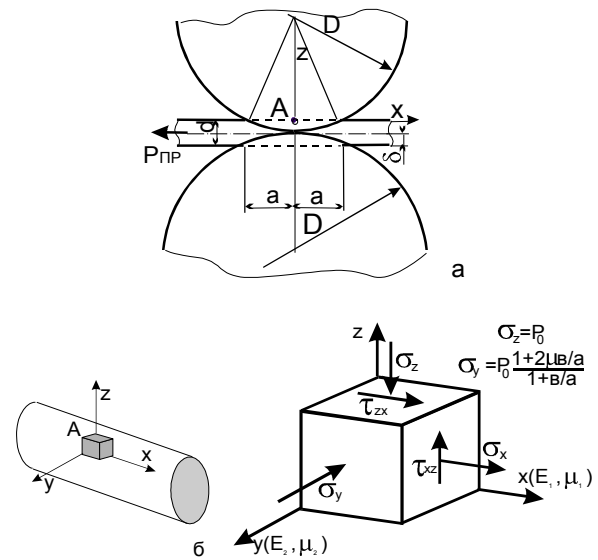


Рис. 2. К расчету диаметра ролика протяжки

Из анализа (рис. 2а) диаметр ролика определится:

$$D = \frac{2a^2}{d} + \frac{d}{2}. \quad (1)$$

Допускаемая относительная поперечная деформация углеродного стержня в наиболее нагруженной точке А (рис. 2б) по закону Гука без учета  $\tau$  имеет вид:

$$[\varepsilon_z] = \frac{\sigma_z}{E_2} - \mu_2 \frac{\sigma_y}{E_2} - \mu_2 \frac{\sigma_x}{E_1}, \quad (2)$$

где  $E_2$  – модуль упругости материала углеродного стержня поперек армирования;

$E_1$  – модуль упругости материала углеродного стержня в направлении армирования;

$\mu_2$  – коэффициент Пуассона материала углеродного стержня поперек армирования.

Так как модуль упругости  $E_1$ , более чем на три порядка превышает модуль упругости  $E_2$ , при значениях  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$ ,  $\sigma_z$  одного порядка, третьим слагаемым в (2) пренебрегаем, тогда:

$$[\varepsilon_z] = \frac{1}{E_2} (\sigma_z - \mu_2 \sigma_y). \quad (3)$$

Используем выражения  $\sigma_z$  и  $\sigma_y$ , полученные при анализе напряженного состояния углеродного стержня при протяжке [4].

$$\left. \begin{aligned} \sigma_x &= -p_0 \frac{2\mu + b/a}{1 + b/a} + \frac{4pf'}{\pi d^2}; \\ \sigma_y &= -p_0 \frac{1 + 2\mu b/a}{1 + b/a}; \quad \sigma_z = -p_0; \\ \tau_{xz} &= \tau_{zx} = p_0 f'; \\ \tau_{xy} &= \tau_{yx} = 0; \quad \tau_{zy} = \tau_{yz} = 0. \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

После подстановки коэффициента Пуассона резины  $\mu \approx 0,5$  получаем  $\sigma_z \approx \sigma_y = p_0$ . Тогда уравнение (3) примет вид:

$$|\varepsilon_z| = \frac{p_0}{E_z} (1 - \mu_2). \quad (5)$$

Из выражения  $p_0 = \frac{3p}{2\pi ab}$ , после подстановки  $b = d/2$ , так как ролики соприкасаются, а усилие на стержень вдоль оси  $z$  равно  $P$  выразим через усилие протяжки  $P_{\text{пр}}$  и коэффициент трения между материалом стержня и резиной ( $f$ ), получим:

$$p_0 = \frac{3P_{\text{пр}}}{\pi f a d}. \quad (6)$$

После подстановки, для определения большей полуоси эллиптического контакта имеем:

$$a = \frac{3P_{\text{пр}}(1 - \mu_2)}{\pi f d [\varepsilon_z] E_2}. \quad (7)$$

Исходя из допускаемой относительной деформации углеволокнистого стержня, выразив  $[\varepsilon_z] E_2 = [\sigma_z]$  после подстановки (7) в (1), получим выражение для определения диаметра ролика:

$$D \geq \frac{18P_{\text{пр}}^2 (1 - \mu_2)^2}{\pi^2 f^2 d^3 [\sigma_z]^2} + \frac{d}{2}. \quad (8)$$

Характеристики материала углеволокнистого стержня  $(\mu_2, [\sigma_z])$  определяются экспериментально.

При усилии протяжки более 50 Н использование обрешиненных приводных роликов нецелесообразно, так как при этом резко возрастают габаритные размеры узла протяжки и затрудняется его обслуживание. В этом случае более полно отвечает предъявляемым требованиям разработанная ленточная конструкция, представленная на рис.3, принципиальной особенностью которой является увеличение площади контакта тянущих элементов с поверхностью стержня, стабильность давления на углеволокнистый стержень по длине контакта и

снижение за счет этого удельного давления на стержень в контактной зоне.

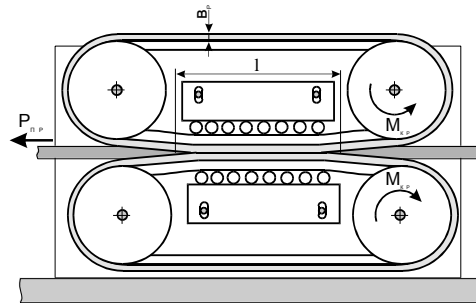


Рис. 3. Ленточное протягивающее устройство

Длина контактной зоны ( $l$ ) по сравнению с предыдущей конструкцией протяжки увеличена в несколько раз и с учетом равномерности распределения давления на стержень по длине контакта может быть определена по формуле:

$$P_{\text{пр}} = \frac{2[\sigma_z] f l d}{3(1 - \mu_2)}. \quad (9)$$

Такая конструкция протяжки обеспечивает высокие значения тянущего усилия при малых поперечных напряжениях на УС, что исключает деформирование сечения УС. Дополнительными преимуществами такой конструкции являются: снижение износа тянущей ленты и, соответственно, увеличение межремонтного периода, исключаются проскальзывания, что позволяет получать стержни равной длины на всех потоках.

Толщина тянущей ленты ( $b_p$ ) с учетом характеристик используемой резины  $E_p$  и из условия, что контактное напряжение в стержне при обжатии не превышает  $[\sigma_z]$ , выше которого наблюдается формоизменение сечения стержня, может быть определена из неравенства:

$$b_p \geq \frac{E_p d}{2[\sigma_z]}. \quad (10)$$

Длина контакта определяется из условия сохранения формы поперечного сечения стержня при протяжке и округляется в большую сторону, исходя из конструктивного исполнения устройства.

**Выводы.** Выработаны рекомендации по методике расчета и проектированию протягивающих устройств, обеспечивающих требуемое усилие протяжки без повреждения стержневых изделий из волокнистых полимерных композитов.

#### Л и т е р а т у р а

1 Справочник по композиционным материалам: В 2-х кн. /Под ред. Дж. Любина; Пер. с англ. – А.Б. Геллера,

М.М. Гельмонта; Под ред. Б.Э. Геллера. – М.: Машиностроение, 1988. – 448 с.

2 Щербakov В.Т., Муратов В.М., Жовнер Б.А. Технология изготовления длинномерных профилей из композиционных материалов пултрузией // Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов / Темат. сб. научн. трудов. – Харьков: Харьк. авиац. ин-т. – 1985. – С. 7-16

3 Фрегер Г.Е., Коструб В.А. Некоторые особенности изготовления профильных изделий из композиционных материалов. – Луганск: Вестник ВУГУ, № 1 (3). – 1996. – С. 48-49.

4 Панфилов А. М., Коструб В. А., Шенкман Г. Л. Анализ напряженного состояния углепластикового стержня при протяжке.—Луганск: Вестник Луганского национального университета им. В. Даля, 2(4), ч.2. – 2017. – С.141-145.

### References

1. Handbook of composite materials: In 2 books. Ed. J. Lubin; Trans. with English. – A.B. Geller, M.M. Helmont; Ed. B.E. Geller. – Moscow: Mechanical Engineering, 1988. – 448 p.

2. Shcherbakov V.T., Muratov V.M., Zhovner B.A. The technology of manufacturing length-measure profiles of composite materials by pultrusion // Questions of design and production of aircraft structures / Temat. Sat. scientific. works. - Kharkov: Kharkiv. aviats. in-t.-1985.-P. 7-16

3. Freger G.Ye., Kostруб V.A. Some peculiarities of manufacturing profile products from composite materials. - Lugansk: Bulletin of the VUGU, No. 1 (3). - 1996. - p. 48-49.

4. Panfilov A.M., Kostруб V.A., Shenkman G.L. The analysis of the stress state of the carbon-plastic rod during broaching. -Lugansk: Bulletin of the V. Dal. Lugansk National University. V. Dal, 2 (4), Part 2.-2017.-p.141-145.

### **Kostrub V.A., Panfilov A.M., Shenkman G.L. ANALYSIS AND CALCULATION OF THE BROACHING DEVICE FOR THE MANUFACTURE OF CARBON-COMPOSITE RODS BY THE PULTRUSION METHOD**

*The process of manufacturing the carbon-composite rods by the pultrusion method is considered, the analysis of the broaching device is made, the recommendations for its designing and hardware design with the aim of ensuring the*

*integrity of the reinforcement are received, and the diameter of the roller is determined.*

**Keywords:** pultrusion, carbon-composite rod, broaching device, broaching force.

**Коструб Владимир Алексеевич** - к.т.н, доцент кафедры «Машиноведение», ГОУ ВПО ЛНР «Луганский национальный университет имени Владимира Даля».

**E-mail:** vkostrub@mail.ru

**Kostrub Vladimir Alekseyevich** – candidate of technical sciences, associate professor of the department "Machinery Science" of V. Dahl Lugansk National University.

**E-mail:** vkostrub@mail.ru

**Панфилов Александр Михайлович** - к.т.н, доцент кафедры «Промышленный и городской транспорт», ГОУ ВПО ЛНР «Луганский национальный университет имени Владимира Даля».

**E-mail:** privoz51a@mail.ru

**Panfilov Alexander Mikhailovich** – candidate of technical sciences, associate professor of the department "Industrial and Urban Transport" of V.Dahl Lugansk National University.

**E-mail:** privoz51a@mail.ru

**Шенкман Геннадий Львович** – ст.преподаватель кафедры «Промышленный и городской транспорт», ГОУ ВПО ЛНР «Луганский национальный университет имени Владимира Даля».

**E-mail:** shenkman40@mail. ru

**Shenkman Gennadiy Lvovich** – senior lecturer of the department "Industrial and Urban Transport" of V. Dahl Lugansk National University.

**E-mail:** shenkman40@mail. ru

**Рецензент: Витренко В.А.**, д.т.н., проф., зав. каф. «Технология машиностроения», ГОУ ВПО ЛНР «Луганский национальный университет имени Владимира Даля».

Статья подана 24.11.2017



УДК 678.027.94:677

## ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ФОРМОВАНИЯ ТОЛСТОСТЕННЫХ КОМПОЗИТНЫХ ИЗДЕЛИЙ МЕТОДОМ ПУЛТРУЗИИ

Коструб В.А., Вербская Л.М., Панфилов А.М.

## INVESTIGATION OF PECULIARITIES OF FORMATION OF THICK-WALLED COMPOSITE PRODUCTS BY PULTRUSION METHOD

Kostrub V.A., Verbskaya L.M., Panfilov A.M.

*Проведено исследование процесса полимеризации при получении толстостенных композитных стержней пултрузией, выявлены особенности с учетом сложности полимеризации габаритных изделий, приведены рекомендации по оптимизации технологических и структурных параметров процесса.*

**Ключевые слова:** композитный стержень, пултрузия, армирующий материал, связующее, степень наполнения, технологический параметр, полимеризация.

**Введение.** Широкое применение композиционных материалов в конструкциях различного назначения обуславливает создание более совершенных композитных структур и разработку технологических процессов для их реализации в конкретных изделиях [5, 6, 8, 17]. В этой связи значительный интерес представляют непрерывные процессы получения длинномерных стержневых изделий на основе волокнистых композитов [3, 7, 9]. Стержневые композитные профили находят применение в качестве силовых и подкрепляющих элементов корабельных, авиационных и автомобильных конструкций, причем характер их нагружения обуславливает действие нагрузки преимущественно в осевом направлении [4, 7, 10]. Такого рода стержневые элементы изготавливаются, в большинстве своем, методом пултрузии [11, 12], позволяющем получать длинномерные изделия с высокими скоростями изготовления.

Анализ исследований и публикаций. Процесс пултрузионного изготовления тонкостенных изделий разнообразного профиля разработан и исследован достаточно хорошо [1, 4, 11] и позволяет получать изделия высокого качества. Изготовление же толстостенных изделий имеет ряд особенностей, которые ухудшают физико-механические характеристики получаемых стержней [2, 3]. Так, например, при формовании толстостенных трубчатых стержней практически невозможно обеспечить равномерное распределение давления по

площади сечения изделия, если связующее находится в жидкотекучем агрегатном состоянии при ведении процесса формообразования и отжима.

Это влечет за собой неравномерность степени наполнения по сечению. Проведение процесса полимеризации сопряжено с необходимостью повышения температуры изделия и равномерного его прогрева по всему объему. Если изделие толстостенно, то время прогрева полимеризации увеличивается, что связано с увеличением длины формирующего элемента – фильеры. При этом возможно появление летучих составляющих, паров воды, растворителей, увеличение объема растворенных в связующем газов, следовательно, увеличение пористости изделия.

**Цель исследования:** анализ особенностей поведения пакета пропитанной арматуры в условиях формообразования и отверждения, поиск оптимальных условий и технологических параметров этого процесса.

**Материалы и результаты исследования.** Одной из особенностей изготовления толстостенных трубчатых элементов сложной структуры является тот факт, что поперечные и спиральные слои арматуры наносятся “всухую” на предварительно пропитанные слои продольной арматуры. Таким образом, их пропитка осуществляется при вхождении в формирующую фильеру и совмещена с процессом отжима излишков связующего и формованием изделия.

Как показано в работах [6, 7, 9], для обеспечения качественной пропитки необходимо создать определенный градиент давления в направлении слоев пропитываемой арматуры. При этом возможны два варианта технологического решения этой проблемы:

1. Введение в пакет пропитанной арматуры внутренней оправки с последующей опрессовкой формирующей фильерой.

2. Обжатие пакета формирующей фильерой с последующим введением внутренней оправки.

Решение этой задачи в момент начала опрессовки может быть сведено к решению задачи Лямэ [8]. Графики распределения возможных давлений по радиусу изделия представлены на рис. 1.

Очевидно, что градиент давления по варианту (рис. 1а) больше и приводит к более быстрой и качественной пропитке наружного слоя арматуры. Недостатком этого метода является то, что давление на внутренние слои осуществляется за счет давления самого пропитываемого слоя после взаимного контакта волокон наполнителя. Давление в связующем по площади сечения изделия при этом выравнивается и в дальнейшем остается постоянным. Отсюда следует, что для обеспечения равномерности степени наполнения по площади сечения изделия необходимо, чтобы количество связующего в наружных слоях пропитанной части было больше, чем во внутренних. После пропитки всего изделия путем обжаривания фильтром степень наполнения выравнивается. Одновременно более близкое расположение волокон наполнителя во внутренней части структуры создает большее сопротивление процессу фильтрации во внутренние слои, несмотря на имеющийся градиент давления. Во втором случае (рис. 1б), даже после пропитки всей структуры изделия, градиент давления не исчезает и происходит дальнейшая транспортировка связующего из внутренних слоев структуры, что приводит к неоднородности степени наполнения по площади сечения.

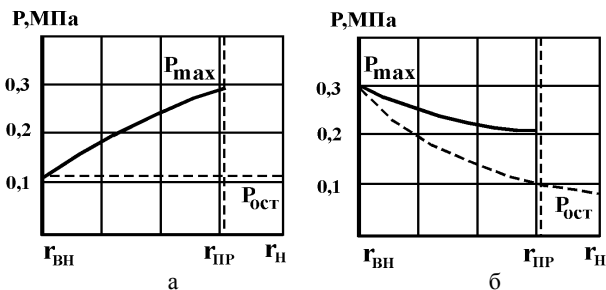


Рис. 1. Распределение давлений по радиусу стержня

На рис. 2 показаны графики зависимости распределения степени наполнения по радиусу трубчатого толстостенного элемента в зависимости от принятого метода формования. Кривая 1 на рис. 2,а – окончательное распределение степени наполнения при неравномерной пропитке (кривая 1<sup>1</sup>), кривые 2 и 2<sup>1</sup> – при равномерной пропитке при наружном обжиге формирующей фильтром. Кривые на рис. 2,б – распределение степени наполнения при внутреннем обжиге оправкой.

Второй особенностью процесса формования является то, что процесс отверждения изделия происходит в три стадии:

1. Повышение температуры и выдержка в течение определенного времени до начала гелеобразования.

2. Повышение температуры и выдержка до достижения твердого состояния связующего.

3. Выдержка при постоянной температуре для обеспечения максимальной степени полимеризации.

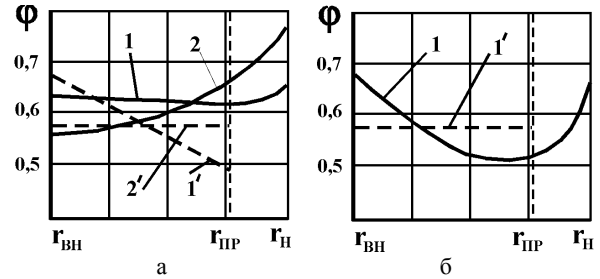


Рис. 2. Изменение степени наполнения по радиусу стержня

Для описания реологических состояний и превращений отверждающего связующего удобно использовать диаграммы хемореологических состояний. На рис. 3 представлена кинетическая диаграмма отверждения эпоксидного связующего. Линия гелеобразования 1 характеризует уменьшение времени гелеобразования с повышением температуры в соответствии с уравнением Аррениуса и зависит только от состава связующего, функциональности и соотношения реакционноспособных компонентов [8, 10]. Линия стеклования имеет сложный характер, так как время стеклования связано с тремя температурами стеклования ( $T_c$ ) отверждающейся композиции: неотвержденной ( $T_{c0}$ ), образующего геля ( $T_{c1}$ ) и отвержденной ( $T_{c\infty}$ ).

На равновесной диаграмме (рис. 4) прямая линия гелеобразования показывает, что степень отверждения в точке гелеобразования  $\beta_A$  не зависит от температуры отверждения. Температура стеклования возрастает с ростом степени полимеризации от  $T_{c0}$  до  $T_{c\infty}$ . Четыре выделенные зоны соответствуют различным физическим состоянием связующего: I – Вязкотекучее; II – Высокоэластическое; III – Стеклообразное до (а) и после (б) гелеобразования.

Анализ диаграмм хемореологических состояний позволяет обоснованно подойти к выбору режимов формования и отверждения.

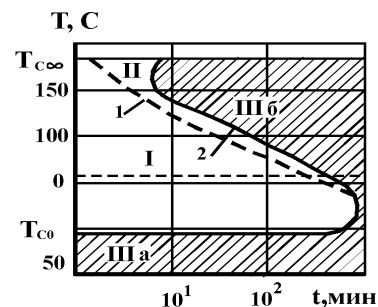


Рис. 3. Диаграмма отверждения связующего

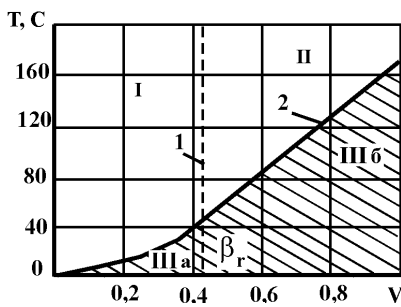


Рис. 4. Диаграмма гелеобразования связующего

Например, важнейшей стадией процесса пултрузии терморезистивных ПКМ является протягивание пропитанной арматуры через нагретую формующую фильеру. В фильере происходит вытяжка и уплотнение волокнистого наполнителя, удаление избытка связующего, его перераспределение в материале и отверждение. Связующее в результате реакции отверждения и изменения температуры претерпевает объемное расширение и усадку, а также физические превращения перехода из вязкотекучего через гелеобразование в эластическое, а затем в твердое стеклообразное состояние.

Важнейшую роль при этом играет соотношение термокинетических параметров – скоростей протягивания изделия и отверждения связующего, распределения температурного поля в формующей фильере, зависящего от мощности нагревателей, длины, формы и площади рабочего канала фильеры, толщины стенок изделия, теплофизических и адгезионных свойств компонентов и материала в целом и т.д. Очевидно, что при изготовлении толстостенных изделий, соотношение всех этих факторов более неблагоприятно, что ограничивает производительность процесса и ухудшает качество получаемых изделий.

Из анализа диаграмм следует, что возможно разделение процессов предварительного формования, включающего формование данной структуры и степени наполнения изделия, отжим и перераспределение связующего до точки гелеобразования и перехода в высокоэластичное состояние. Причем, предварительное отверждение может производиться и вне фильеры. При этом удаляются летучие продукты, пары воды и растворители. Поскольку отсутствует непосредственный контакт с фильерой, в момент гелеобразования, устраняются дополнительные нагрузки, связанные с адгезионным воздействием между профилем и фильерой. Затем изделие подвергается воздействию второй формующей фильеры, в которой происходит окончательное формообразование и отверждение изделия. При этом параметры самой фильеры и внутренней оправки могут быть подобраны таким образом, чтобы обеспечить равномерное распределение

давления по площади изделия. Величина этого давления может быть задана в необходимых пределах, обеспечивающих сохранение целостности армирующего материала под воздействием усилия протяжки, получение максимальных физико-механических характеристик, обеспечение наилучших качественных показателей изделия. Во многих литературных источниках, например, [2], указывается, что получение изделий достаточно высокого качества возможно при использовании давлений 2...5 МПа и выше.

Однако, при расчете параметров отверждаемого изделия при действии высоких давлений необходимо учитывать влияние давления на величину физико-механических характеристик отверждающегося связующего. Идеальным представляется каскад из трех фильер: предварительной, основной и финишной полимеризации. Такой процесс позволяет снизить градиент давлений и повысить скорость протяжки. При этом длина и количество фильер определяются, кроме всего, еще и габаритами изделия.

На рис. 5 представлены данные по изменению некоторых физико-механических характеристик полиэпоксида в зависимости от приложенного давления: 1 – коэффициента Пуассона, 2 – модуля упругости, 3 – температуры стеклования.

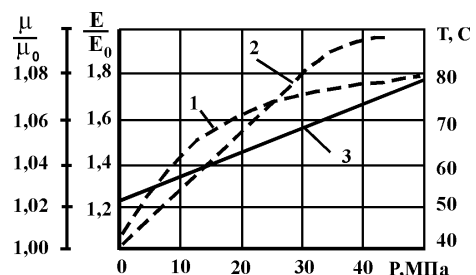


Рис. 5. Изменение физико-механических характеристик полиэпоксида

Имеются данные, что повышение давления оказывает влияние также на вязкость отверждающегося полимера, а, следовательно, и на время релаксации механических воздействий. При этом предлагается учитывать это влияние путем введения дополнительного члена  $\gamma'\sigma_{CP}$  в известную формулу определения вязкости [10]:

$$\eta = AT \exp \frac{u - \gamma'\sigma_{CP} - \gamma\sigma_i}{RT} \tag{1}$$

Однако, поскольку влияние давления обусловлено изменением расстояния между молекулами и соответствующим изменением энергии активации, то, следовательно, среднее напряжение уже не будет однозначно определять изменение времени релаксации, которое будет зависеть от скорости деформации. При этом, чем

больше скорость нагружения, тем меньше влияние величины приложенного давления на время релаксации. Поэтому при анализе процессов формообразования при пултрузии композиционных материалов это влияние можно не учитывать.

**Выводы.** Проведенные исследования показали, что при получении пултрудированных толстостенных трубчатых стержней процесс их полимеризации целесообразно проводить в каскаде формирующих фильер, осуществлющих предварительное, основное и финишное формование. Это позволяет не только улучшить структуру материала, но и повысить его прочностные свойства. Кроме того, установлено, что увеличение скорости нагружения при полимеризации снижает влияние величины давления на время релаксации механических воздействий.

#### Л и т е р а т у р а

1. Механика композиционных материалов и элементов конструкций: В 3-х т./ Под ред. А.Н.Гузя. – Киев: Наукова думка, 1982, т.3. – 261 с.
2. О реализации прочности волокон в армированных пластиках /Баженов С.Л., Куперман А.М., Снигирева Н.А., Пучков Л.В., Зеленский Э.С. – Прочность и разрушение гетерогенных матер. – 1990. № 1. С. 48-52.
3. Применение углепластиков в конструкции летательных аппаратов / Ю.Н. Работнов, А.А. Туполев, В.Ф. Кутьинов и др. – Механика композитных материалов, 1981. – № 4. – С.657-667.
4. Скудра А.М., Булавс Ф.Я. Структурная теория армированных пластиков. – Рига: Зинатне, 1978. – 192 с.
5. Гайдачук В.Е. О принципах и проблемах проектирования авиаконструкций из композиционных материалов. – В кн.: Самолетостроение. Техника воздушного флота. – Харьков: ХАИ. – 1975. – № 36. – С.51-56.
6. Коструб В.А. Особенности выбора параметров изготовления силовых композитных стержней /Проблемы горного дела и экологии горного производства: Матер. IX междунар. науч.-практ. конф. (24-25 апреля 2014 г., г. Антрацит). – Донецк: Донбасс, 2014. – С.86-90.
7. Коструб В.А. Исследование термодинамических параметров процесса формования композитных стержней методом пултрузии /Проблемы горного дела и экологии горного производства: Матер. VIII междунар. науч.-практ. конф. (25-26 апреля 2013 г., г. Антрацит). – Донецк: Світ книги, 2013. – С.289-296.
8. Лыков А.В. Теплообмен. – М.: Энергия. – 1972. – 560 с.
9. Щербак В.Т., Муратов В.М., Жовнер Б.А., Просветова Л.А. Изготовление длинномерных профилей из углепластика пултрузией// Авиационная промышленность. – 1987. – №6. – С. 50-51.
10. Сумм Б.Д., Горюнов Ю.В. Физико-химические основы смачивания и растекания. М.: Химия – 1976. – 232 с.
11. Справочник по композиционным материалам: В 2-х кн. /Под ред. Дж. Любина; Пер. с англ. – А.Б. Геллера, М.М. Гельмонта; Под ред. Б.Э. Геллера. – М.: Машиностроение, 1988. – 448 с.

1. Mechanics of composite materials and structural elements: In 3 volumes / Ed. A.N.Guzia. – Kiev: Naukova Dumka, 1982, vol. 3. – 261 p.

2. On the realization of the strength of fibers in reinforced plastics / Bazhenov S.L., Kuperman A.M., Snigireva N.A., Puchkov L.V., Zelensky E.S. – Strength and destruction of heterogeneous mater. – 1990. № 1. P. 48-52.

3. The use of carbon plastics in the design of aircraft / Yu.N. Rabotnov, A.A. Tupolev, V.F. Kutinov et al. - Mechanics of Composite Materials, 1981. – No. 4. – P.657-667.

4. Skudra AM, Bulavs F.Ya. Structural theory of reinforced plastics. – Riga: Zinatne, 1978. – 192 p.

5. Gaidachuk VE On the principles and problems of designing aircraft structures from composite materials. In the book: Aircraft Building. Air fleet technique. – Kharkov: KhAI. – 1975. – No. 36. – P.51-56.

6. Kostруб V.A. Peculiarities of the choice of the parameters of manufacturing of composite composite rods / Problems of mining and ecology of mining: Mater. IX Intern. scientific-practical. Conf. (April 24-25, 2014, city of Anthracite). – Donetsk: Donbass, 2014. – P.86-90.

7. Kostруб V.A. Investigation of the thermokinetic parameters of the process of forming composite rods by rototusion method / Problems of Mining and Ecology of Mining: Mater. VIII Intern. scientific-practical. Conf. (April 25-26, 2013, the city of Anthracite). – Donetsk: Svit books, 2013. – P.289-296.

8. Lykov A.V. Heat-mass transfer. – М.: Энергия. – 1972. – 560 p.

9. Shcherbakov VT, Muratov VM, Zhovner BA, Prosvetova LA Production of length-measure profiles of carbon plastic by pultrusion // Aviation industry. – 1987. – No. 6. – p. 50-51.

10. Summ B.D., Goryunov Yu.V. Physical-chemical basis of wetting and spreading. – Moscow: Chemistry – 1976. – 232 p.

11. Handbook of composite materials: In 2 books. Ed. J. Lubin; Trans. with English. – А.Б. Geller, М.М. Helmont; Ed. B.E. Geller. – Moscow: Mechanical Engineering, 1988. – 448 p.

#### **Kostrub V.A., Verbskaya L.M., Panfilov A.M. INVESTIGATION OF PECULIARITIES OF FORMATION OF THICK-WALLED COMPOSITE PRODUCTS BY PULTRUSION METHOD**

*The study of the polymerization process in manufacturing the thick-walled composite rods by pultrusion was carried out, the features of the polymerization were revealed taking into account the complexity of the polymerization of overall dimensions products, the recommendations for optimizing the technological and structural parameters of the process were given.*

**Key words:** composite rod, pultrusion, reinforcing material, binder, degree of filling, technological parameter, polymerization.

**Коструб Владимир Алексеевич** – к.т.н./, доцент кафедры «Машиноведение», ГОУ ВПО ЛНР «Луганский национальный университет имени Владимира Даля».  
**E-mail:** vkostrub@mail.ru

**Kostrub Vladimir Alekseyevich** – candidate of technical sciences, associate professor of the department

"Machinery Science" of V. Dahl Lugansk National University.

**E-mail:** vkostrub@mail.ru

**Вербская Людмила Михайловна** – ст. преподаватель кафедры «Машиноведение», ГОУ ВПО ЛНР «Луганский национальный университет имени Владимира Даля».

**Verbskaya Lyudmila Mikhailovna** – senior lecturer of the department "Machinery Science" of V. Dahl Lugansk National University.

**Панфилов Александр Михайлович** – к.т.н., доцент, кафедра «Промышленный и городской транспорт», ГОУ ВПО ЛНР «Луганский национальный университет имени Владимира Даля».

**E-mail:** privoz51a@mail.ru

**Panfilov Alexander Mikhailovich** – candidate of technical sciences, associate professor, the department "Industrial and Urban Transport" of V. Dahl Lugansk National University.

**E-mail:** privoz51a@mail.ru

**Рецензент: Витренко В.А.**, д.т.н., проф., зав. каф. «Технология машиностроения», ГОУ ВПО ЛНР «Луганский национальный университет имени Владимира Даля».

*Статья подана 24. 11. 2017*

УДК 621.311

## ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ РАБОТЫ СЕТИ 6 КВ С КОМПЕНСИРОВАННОЙ НЕЙТРАЛЬЮ В РЕЖИМЕ ОДНОФАЗНОГО ЗАМЫКАНИЯ НА ЗЕМЛЮ

Кузьменко Д.И., Яременко С.П.

## IMPROVING THE RELIABILITY OF THE NETWORK 6 KV WITH COMPENSATED NEUTRAL IN THE MODE OF SINGLE-PHASE GROUND FAULT

Kuzmenko D.I., Yaremenko S.P.

*В статье представлен анализ работы микропроцессорной системы релейной защиты от однофазных замыканий на землю, работающей в сети 6 кВ с дугогасящими реакторами. Приведена статистика неоправданных отключений потребителей релейной защитой. Выявлены вероятные причины этих отключений. Показаны осциллограммы переходных процессов. Предложено применить метод шунтирования поврежденной фазы для перевода замыкания в устойчивое глухое, не требующее немедленного отключения, задействовать GSM модуль для отсылки данных аварии и их анализа инженером службы РЗА о правильности срабатывания защиты.*

***Ключевые слова:** однофазное замыкание на землю, микропроцессорная релейная защита, городские электрические сети, компенсированная нейтраль, надежность работы электрических сетей.*

**Введение.** Однофазное замыкание на землю является наиболее частым видом повреждения в распределительных электрических сетях (75-90% от числа всех электрических повреждений)[1]. В системе электроснабжения Луганска распределительные электрические сети 6 - 35 кВ работают с изолированной или компенсированной нейтралью. Токи однофазных замыканий на землю имеют по сравнению с нагрузочными токами небольшие значения и находятся в диапазоне 15-65 А. В распределительных сетях с компенсированной нейтралью при условии правильной настройки дугогасящего реактора токи в местах повреждений имеют значительно меньшие значения, что затрудняет настройку релейной защиты, работающей на отключение. Неправильная настройка приводит к развитию повреждения до многофазного или двойного замыкания на землю либо к неоправданному отключению потребителей[1,2].

**Цель работы.** Повышение надежности работы системы электроснабжения с дугогасящим

реактором в нейтрали в режиме однофазного замыкания на землю.

**Задача исследований.** Провести анализ работы микропроцессорной релейной защиты от однофазных замыканий на землю системы электроснабжения.

**Материал и результаты исследований.** Объектом исследования является городская система электроснабжения  $U_n = 6$  кВ от центральной распределительной подстанции (ЦРП), расположенной в Луганске. ЦРП имеет значительно разветвленную электрическую сеть кабельных линий. От двух секций шин ЦРП отходит 38 питающих присоединений с дальнейшим разветвлением, всего 189 кабельных участков. Часть отходящих от ЦРП присоединений (17 прис.) может быть при помощи разъединителей переключена на любую из секций. Суммарная протяженность кабельных линий исследуемой системы электроснабжения части города от подстанции, запитанных от первой секции шин, составляет 39 км, от второй – 56,6 км, что составляет 94,52 А общего емкостного тока в месте замыкания на землю в случае включенного секционного выключателя. Исследуемая сеть имеет возможность резервировать посторонних потребителей в 23 точках системы, а также через эти точки в случае необходимости могут быть запитаны собственные потребители. В результате система имеет значительные возможности по оперативному переключению потребителей, что приводит к частому и значительному изменению ее конфигурации. Нейтралеобразующими устройствами в системе электроснабжения являются трансформаторы собственных нужд. К нейтрали этих трансформаторов подключены дугогасящие реакторы плунжерного типа с ручной настройкой в резонанс. Подстройка реактора производится персоналом по указанию главного диспетчера после

каждого изменения конфигурации системы. Точность подстройки контролируется по изменениям показаний вольтметра.

На рис.1 показана однолинейная схема присоединений к шинам питающей подстанции.

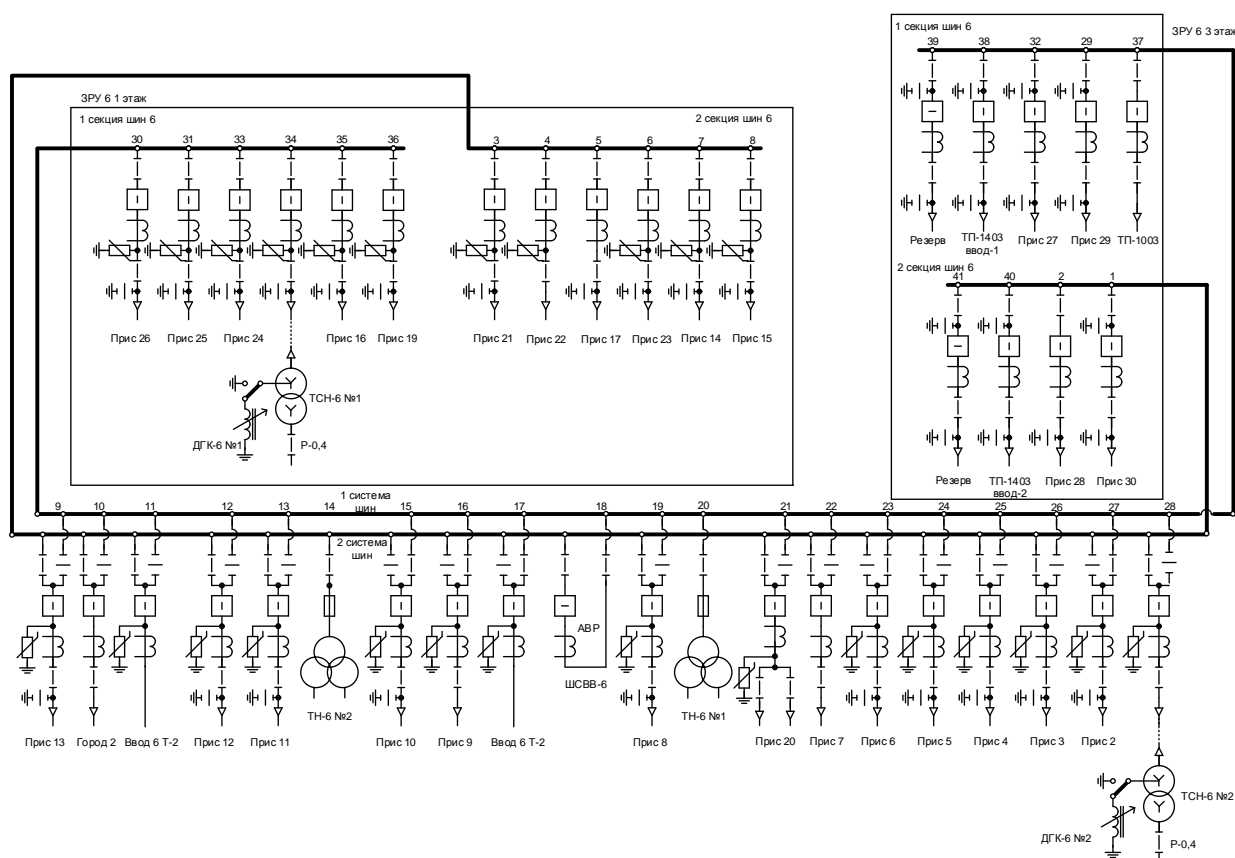


Рис. 1. Однолинейная схема отходящих присоединений от шин питающей подстанции

Предпосылкой замены существовавшей до 2013 года релейной защиты от однофазных замыканий подстанции на микропроцессорную стал технический анализ повреждений системы электроснабжения, который показал, что за 2012 год в системе электроснабжения от ЦРП возникло 28 однофазных повреждений, произошедших в кабельных линиях по причине ухудшения изоляции. В 25 случаях (90%) возникшие повреждения переросли в двойные или многофазные замыкания и были отключены максимально-токовой защитой. Информация времени, в течение которого система электроснабжения эксплуатировалась с однофазным замыканием на землю, для каждого отдельного случая отсутствовала.

Анализ также показал, что при неправильном срабатывании защиты выявление направления с однофазным повреждением отходящего от шин ЦРП, осуществляемое путем проведения целенаправленных оперативных переключений и наблюдения за показаниями приборов контроля изоляции, происходило в среднем в течение 28 минут без учета времени прибытия оперативной бригады на подстанцию. На основании проведенного анализа руководством компании было принято решение о модернизации системы

электроснабжения путем замены релейной защиты от однофазных замыканий.

В качестве органов релейной защиты на подстанции были установлены два микропроцессорных устройства диагностики состояния изоляции «АЛЬТРА-32» для контроля токов нулевой последовательности всех отходящих от шин ЦРП присоединений с реагированием на отключение выявленного присоединения с повреждением, что позволило существенно снизить время работы системы электроснабжения в режиме замыкания на землю.

С августа 2014 года после пусконаладочных работ устройства введены в полноценную работу. С этого момента ведется непрерывный мониторинг состояния изоляции системы электроснабжения с цифровой фиксацией аварий.

За период с 2014 г. по 2017 г. устройством «Альтра-32», подключенным к первой секции шин, было зафиксировано 118 аварийных ситуаций. Анализ этих ситуаций показал, что 70% из всех записей – однофазные повреждения, 21% из этих повреждений – устойчивые дуговые, 9% - глухие, 40% - самоустранившиеся. В 19,6% от всех срабатываний защиты отключение было неоправданно. Сюда вошли случаи с неправильным

выявлением поврежденного присоединения и реагированием на коммутационные переходные процессы. Ввиду того, что релейная защита от однофазных замыканий установлена только на отходящих линиях подстанции, а каждое направление имеет достаточно разветвленную сеть, большое количество потребителей оставалось без электроэнергии.

Согласно паспортным данным установленная релейная защита реагирует на направление тока и напряжения нулевой последовательности в начальный момент однофазного замыкания на землю. В случае возникновения однофазного

замыкания на землю начальные направления тока (в поврежденном присоединении) и напряжения нулевых последовательностей совпадают, остальные токи нулевой последовательности имеют встречное с  $3U_0$  направление [3,4]. В 15 случаях из зафиксированных аварийных отключений выявлено одинаковое направление импульсов токов нулевой последовательности с импульсом  $3U_0$  одновременно в нескольких присоединениях, что свидетельствует о неопределенности выявления поврежденного присоединения. На рис. 2 показаны осциллограммы такого случая, где можно наблюдать по два сонаправленных импульса тока.

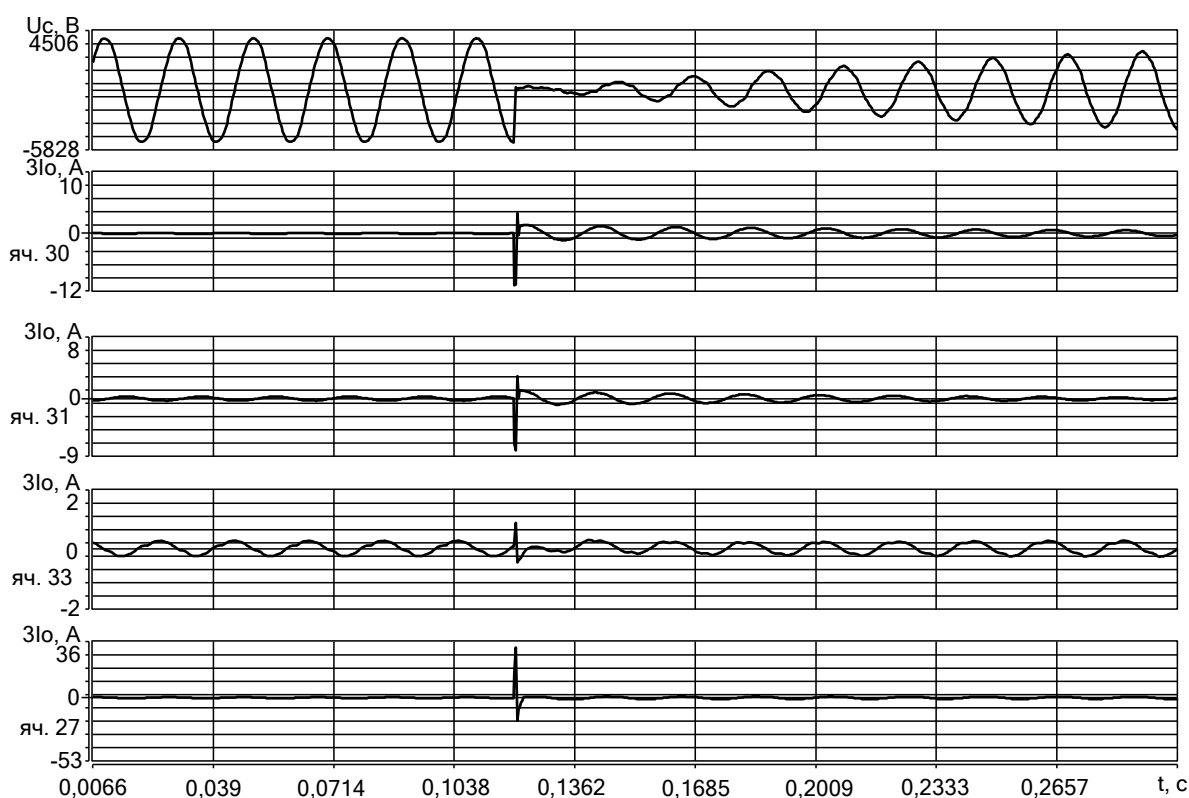


Рис. 2. Осциллограммы фиксации однофазного повреждения микропроцессорной релейной защитой

Для выявления причины возникновения ошибки необходимо более детально рассмотреть начальный переходной процесс. На рис. 3 показаны осциллограммы напряжения поврежденной фазы и тока нулевой последовательности при замыкании фазы на землю.

На рис. 3 видно, что весь переходной процесс записан шестью точками общей продолжительностью 1,75 мс. Время между точками измерения составляет 0,35 мс. Максимальная частота дискретизации аналогово-цифрового преобразования входных аналоговых сигналов, заявленная производителем, составляет 48 кГц (960 точек на период промышленной частоты). Реальная частота дискретизации одного канала составляет 2,9

кГц (57 точек на период). Устройство фиксирует сигналы с 30 каналов.

Правильность выявления в данном случае зависит от совпадения момента возникновения тока пробоя в кабеле и момента измерения его АЦП релейной защиты. Согласно выше приведенной статистики в 19,6% случаях отключение можно было не производить.

На данный момент для проведения работ по восстановлению электроснабжения требуется значительное время, в которое входит и время прибытия на подстанцию оперативно-выездной бригады, так как на подстанции находится только диспетчер. Устройство записывает данные об аварии в течение 2,1 секунды с учетом 0,1 секунды до аварийного момента.



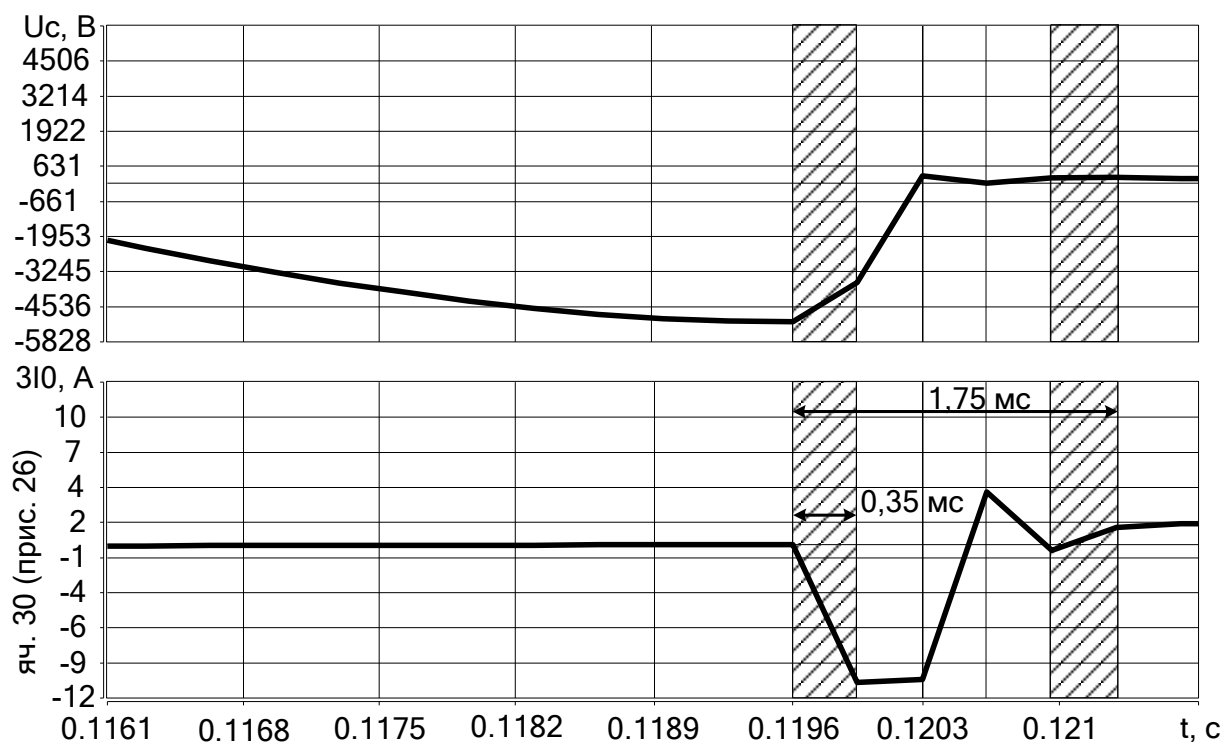


Рис. 3. Осциллограммы переходного процесса

Повысить бесперебойность электроснабжения потребителей при определении наличия повреждения и выявлении направления с повреждением может инженер службы РЗиА путем анализа записанных данных и отправки результатов дежурному диспетчеру. Для ускорения обработки информации инженером службы РЗиА необходимо задействовать встроенный в релейную защиту GSM модуль.

Сократить время простоя потребителей без электроэнергии можно также за счет применения метода шунтирования поврежденной фазы[5,6], что позволит перевести работу релейной защиты на сигнал. Применение метода позволит:

- перевести повреждение в устойчивое глухое;
- погасить дугу в месте замыкания;
- измерить ток замыкания на землю для конкретной конфигурации сети;
- оценить уровень настройки реактора в резонанс;
- снизить уровень перенапряжений на неповрежденных фазах до 1,73.

Параллельно с работой шунта инженер имеет возможность обработать информацию об аварии, а дежурный диспетчер ЦРП имеет возможность связаться с главным диспетчером для выяснения возможностей перевода отключаемых потребителей на резервное питание. Работа шунта может продолжаться до принятия решения об отключении потребителей, после указания инженером релейной защиты поврежденного присоединения или его отсутствия.

**Выводы.**

1. В процессе исследования выявлены слабые стороны микропроцессорного устройства «Альтра-32», работающего на отключение присоединений с однофазными повреждениями. Существующая схема сети не позволяет повысить частоту дискретизации контролируемых 30 каналов, что вносит погрешность в определение поврежденного присоединения.

2. Надежность работы системы электроснабжения можно повысить за счет применения метода шунтирования поврежденной фазы на землю, который дает возможность при однофазном замыкании на землю не отключать поврежденное присоединение и дает время диспетчеру на поиск резервного источника питания.

3. Точность работы релейной защиты можно повысить за счет подключения GSM модуля устройства и настройки связи со службой РЗиА, что позволит инженеру службы контролировать правильность выявления повреждения.

**Литература**

1. Лихачев Ф.А. Замыкание на землю в сетях с изолированной нейтралью и компенсацией емкостных токов. - М: Энергия, 1971. - 152 с.
2. Сивокобыленко В.Ф. Переходные процессы в системах электроснабжения собственных нужд электростанций / В.Ф. Сивокобыленко, В.К. Лебедев. - Донецк, 2002. - 134с.
3. Чупайленко А.А., к.т.н., проф.; Седов А.Н., аспирант. Разработка принципов построения защиты от замыканий на землю в условиях шахт. // Наукові праці ДонДТУ. - № 42. - С. 261-265.

4. Шуин В.А., Гусенков А.В. Защиты от замыканий на землю в электрических сетях 6- 10кВ. – М.: НТФ «Энергопрогресс». — 2001 г.— 104 с.

5. Olexsander Zakharchuk, Dmitriy Kuzmenko, Svetlana Yaremenko. Increasing of sensitivity of relay protection from earth fault of phase in networks 6-10 kv with insulated neutral// ТЕКА Kom. Mot. i Energ. Roln. – OL PAN, 2010, 10D, 51-57

6. Sivokobylenko, V., Kuzmenko, D. Searching the Damaged Outgoing Feeder in Networks with Insulated Neutral by Phase-to-ground Fault. Ener

### References

1. Lihachev F.A. Zamykanie na zemlyu v setyah s izolirovannoy neytralyu i kompensatsiyey emkostnyih tokov. - M: Energiya, 1971. - 152 s.

2. Sivokobylenko V.F. Perehodnyie protsessyi v sistemah elektrosnabzheniya sobstvennyih nuzhd elektrostantsiy / V.F. Sivokobylenko, V.K. Lebedev. – Donetsk, 2002. – 134s.

3. Chupaylenko A.A., k.t.n., prof.; Sedov A.N., aspirant. Razrabotka printsipov postroeniya zaschityi ot zamykaniy na zemlyu v usloviyah shaht. // NaukovI pratsI DonDTU. - # 42. – S. 261-265.

4. Shuin V.A., Gusenkov A.V. Zashchityi ot zamykaniy na zemlyu v elektricheskikh setyah 6- 10kV. – М.: NTF «Energoprogress». — 2001 г.— 104 с.

5. Olexsander Zakharchuk, Dmitriy Kuzmenko, Svetlana Yaremenko. Increasing of sensitivity of relay protection from earth fault of phase in networks 6-10 kv with insulated neutral// ТЕКА Kom. Mot. i Energ. Roln. – OL PAN, 2010, 10D, 51-57

6. Sivokobylenko. V.. Kuzmenko. D. Searching the Damaged Outgoing Feeder in Networks with Insulated Neutral by Phase-to-ground Fault. Ener

**Kuzmenko D.I., Yaremenko S.P.**

### IMPROVING THE RELIABILITY OF THE NETWORK 6 KV WITH COMPENSATED NEUTRAL IN THE MODE OF SINGLE-PHASE GROUND FAULT

*An article presents the analysis of working of microprocessor systems of relay protection from single-phase earth fault, working at the network 6 kV with arc suppression*

*reactors. The statistics of unnecessary shutdowns of relay protection is shown. Identified probable causes of these outages. Shows oscillograms of transient processes. It is proposed to use the method of grafting the damaged phase for conversion circuit in a short stable deaf, does not require immediate shutdown, use the GSM module for sending the crash data and analysis by engineer of service relay protection and automation about the correctness of protection operation.*

**Key words:** *single-phase ground short-circuit, microprocessor-based relay protection, electric network, compensated neutral, the reliability of electrical networks.*

**Кузьменко Дмитрий Иванович**, доцент, к.т.н., Луганский национальный университет имени В.Даля, кафедра «Электротехнические системы электропотребления».

**E-mail:** invodi@yandex.ru

**Kuzmenko Dmitry Ivanovich**, associate Professor, Ph. D., Lugansk national University named after V.Dahl, Department "Electrical engineering systems of power consumption".

**E-mail:** invodi@yandex.ru

**Яременко Светлана Петровна**, старший преподаватель, Луганский национальный университет имени В.Даля, кафедра «Электротехнические системы электропотребления».

**E-mail:** kaf\_energo\_sys@mail.ru

**Yaremenko, Svetlana Petrovna**, senior lecturer, Lugansk national University named after V.Dahl, Department "Electrical engineering systems of power consumption".

**E-mail:** kaf\_energo\_sys@mail.ru

**Рецензент: Тарасенко О.В.**, к.т.н., доцент, декан факультета электротехнических систем Луганского национального университета имени Владимира Даля.

*Статья подана 13.11.2017*

УДК 621.3.082.77.001.24(045)+621.314.22.6.001.24(045)

**РАСЧЕТ УРОВНЯ КОРОННЫХ РАЗРЯДОВ, ВОЗНИКАЮЩИХ  
ПРИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ МЕТОДЕ ИЗМЕРЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК  
ЧАСТИЧНЫХ РАЗРЯДОВ В СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРАХ С  
ПОДВОДИМЫМ НАПРЯЖЕНИЕМ 6-330 кВ**

**Сырцов А.И., Половинка Д.В., Парсентьев О.С.**

**CALCULATION OF THE LEVEL OF CORONARY DISCHARGES ARISING  
FROM ELECTRICAL METHOD OF MEASUREMENT OF CHARACTERISTICS  
PARTIAL DISCHARGE IN POWER TRANSFORMERS  
WITH UNDER VOLTAGE 6-330 kV**

**Syrstov A.I., Polovinka D.V., Parsentiev O.S.**

*Для оценки возможности проведения испытаний по измерению характеристик частичных разрядов (ЧР) в изоляции силовых трансформаторах (СТ) общепромышленного назначения с подводимым напряжением 6-330 кВ разработана методика, позволяющая определить критическое значение напряженности электрического поля, при котором проявляется корона или стример, наибольшее значение объемного заряда, возникающего на металлических токопроводах вводов (фазах) высшего напряжения (ВН) этих трансформаторов под действием напряженности электрического поля.*

*Определена величина максимального удаления объемных зарядов от вводов ВН силовых трансформаторов, а также максимальное значение заряда в частицах осевшей пыли на вводах ВН.*

*Предложен ряд мероприятий для снижения уровня помех от короны при измерении характеристик частичных разрядов.*

**Ключевые слова:** трансформатор силовой трехфазный, частичные разряды, критическая напряженность электрического поля, объемный заряд, корона, стример, межфазный изоляционный промежуток.

**Введение.** В масляных силовых трансформаторах изоляция состоит из ряда различных конструктивных элементов, работающих в неодинаковых условиях.

Воздушные промежутки по поверхностям между вводами составляют внешнюю изоляцию, а все изоляционные участки, расположенные внутри бака, – внутреннюю изоляцию трансформатора. В свою очередь, внутренняя изоляция подразделяется на главную и продольную.

К главной изоляции относится изоляция обмоток относительно заземленных участков и между обмотками различных фаз. В качестве главной изоляции в современных СТ используется

маслобарьерная изоляция, а на отдельных участках, например на отводах, применяется изолирование. Маслобарьерная изоляция обладает достаточно высокой кратковременной электрической прочностью и позволяет интенсивно охлаждать конструкцию за счет циркуляции масла. Для того, чтобы барьеры были эффективными, они должны располагаться перпендикулярно силовым линиям электрического поля  $E$ . В СТ электрическое поле имеет сложную конфигурацию, поэтому приходится применять комбинацию барьеров различной формы. Причем количество барьеров зависит от класса подводимого к СТ номинального напряжения.

Продольная – это изоляция между разными точками одной и той же обмотки: между витками, слоями, катушками. Она выполняется бумажно-масляной или с помощью изолирования и покрытия витков и катушек обмотки.

После сборки каждый СТ подвергается испытаниям, которые являются составной частью процесса их производства. Причем по результатам испытаний судят не только о соответствии последних стандартам и нормам, но и ведут косвенный контроль за правильностью технологического процесса производства.

Так, для испытания внутренней (главной и продольной) изоляции СТ, в том числе и отводов, программой приемо-сдаточных испытаний предусмотрено: испытание пробы масла из бака трансформатора, испытание электрической прочности изоляции по ГОСТ 1516.1 [1], испытание электрической прочности изоляции напряжением промышленной частоты 50 Гц с измерением частичных разрядов (трансформаторы класса 150 кВ и выше).

Причем испытания внутренней изоляции СТ происходят при приложении к последним высокого подводимого испытательного напряжения, превышающего номинальное значение, вследствие чего снижается электрическая прочность его изоляции.

Испытания СТ целесообразно проводить методами диагностического неразрушающего контроля, к которым следует отнести методы измерения характеристик частичных разрядов ГОСТ 21023 [2].

Частичный разряд (ЧР) возникает либо на участке с пониженной электрической прочностью, либо в зоне повышенной напряженности электрического поля, в расслоениях изоляции, в газовых включениях и т.п.

Достаточно слабые ЧР безопасны для изоляции, длительные и интенсивные частичные разряды разрушают изоляцию.

Наибольшее распространение получили акустические и электрические методы измерения интенсивности ЧР. Основной диагностический параметр при эксплуатационном контроле – кажущийся заряд частичного разряда. Акустические методы ЧР используют для выявления наличия разрядов и локации их источника. Электрические методы обеспечивают определение значения контролируемого параметра.

Наибольшую эффективность при контроле оборудования в условиях эксплуатации обеспечивает непрерывное измерение ЧР. Устройство для измерения характеристик ЧР, описанное в [2], вполне соответствует для решения задачи контроля ЧР.

Измерение характеристик ЧР проводится при испытании длительным рабочим напряжением промышленной частоты на холостом ходу СТ, а также при испытании одномоментным повышенным напряжением промышленной частоты в соответствии с ГОСТ 1516.1, ГОСТ 20690 и ГОСТ 22756.

Однако существенное негативное влияние на качество измерений характеристик ЧР оказывают помехи, обусловленные наличием короны на вводах СТ и других металлических частях СТ, находящиеся под высоким электрическим потенциалом, на незаземленных металлических узлах и деталях испытательной установки, а также на незаземленных металлических узлах и деталях с острыми кромками.

Корона представляет собой лавинно-стримерную форму устойчивого разряда, характерную для резконеоднородных полей.

Коронный разряд сопровождается: свечением в виде ореола, охватывающего коронирующий электрод; потерями электрической энергии; электромагнитными высокочастотными колебаниями и их излучением; рядом химических реакций; характерным шумом и механическими вибрациями.

**Анализ последних исследований и публикаций** позволяет сделать заключение о том, что методы количественного определения уровня коронных разрядов при измерении характеристик ЧР в СТ с подводимым напряжением 6 кВ и более практически не рассматривались. В ГОСТ 21023 [2] имеется только упоминание о негативном влиянии коронных разрядов на качество измерений и некоторых методах по снижению коронных разрядов в СТ с подводимым напряжением 110 кВ и более.

**Целью настоящей работы является выполнение расчета критической напряженности электрического поля, при котором появляется корона, а также наибольшего заряда, возникающего во внутренней изоляции СТ под действием электрического поля короны.**

**Основная часть.** При расчете используются следующие допущения:

1. Напряженность поля на вводе ВН СТ в течение всего полупериода  $T/2$  неизменна и равна критической  $E_K$ .

2. Объемный заряд каждой фазы удаляется от ввода ВН силовых трансформаторах только в течение полупериода  $T/2$ , а при перемене полярности он начинает испытывать притяжение к вводу.

3. Электрическое поле, возникающее между вводами СТ, является резконеоднородным.

В работе [3] предлагается эмпирическая формула для расчета критического значения напряженности электрического поля ( $кВ/см$ ):

$$E_K = 31,6 \cdot \left( 1 + \frac{0,308}{\sqrt{r}} \right), \quad (1)$$

где  $r$  – радиус коронирующего провода по [3], см.

Стержни вводов и отводов обмоток ВН, СН в СТ эквивалентны по своему исполнению коронирующему проводнику, поэтому их радиус определяется отношением (см):

$$r_{ВН(СН)} = \frac{0,1 \cdot d_{ВН(СН)}}{2}, \quad (2)$$

где  $d_{ВН(СН)}$  – диаметр шпильки ввода (отвода) обмотки ВН (СН), мм.

Диаметр шпильки ввода (фазы)  $d_{ВН(СН)}$  обмотки ВН СТ выбирается по [6,10].

Наибольшее удаление  $x$  объемного заряда (мм) от ввода (фазы) СТ определяется по формуле:

$$x = 10 \cdot \sqrt{b_{II} \cdot E_K \cdot r \cdot T}, \quad (3)$$

где  $b_{II}$  – подвижность ионов;  $b_{II} = 1,8 \text{ см}^2 / \text{В} \cdot \text{с}$  по [4];

$E_K$  – напряженность на поверхности ввода СТ ( $\text{В}/\text{см}$ ), формула (1);

$r$  – радиус коронирующего токопровода (ввода), см, по формуле (2);

$T$  – период переменного тока,  $T = 0,02 \text{ с}$  [5].

Таким образом, в связи с постоянством напряженности  $E_K$  заряд на вводе ВН СТ (Кл) определяется по формуле:

$$Q_{\text{ВВОДА}} = 2 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0 \cdot r \cdot E_K. \quad (4)$$

Таким образом, наибольший заряд, который может возникнуть в частице осевшей пыли, помещенной в электрическое поле, определяется по формуле Мора (Кл):

$$Q_{\text{ВЕЩ}}^{\text{MAX}} = 400 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0 \cdot a^2 \cdot E_K \cdot \left( \frac{c^2}{a^2} + \frac{2}{3 \cdot \left[ \frac{1}{(\varepsilon' - 1)} + \frac{N}{4\pi} \right]} \right), \quad (5)$$

где,  $\varepsilon_0$  – диэлектрическая постоянная,  $\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$ ;

$\varepsilon'$  – диэлектрическая проницаемость частиц вещества;

$E_K$  – напряженность на поверхности ввода СТ ( $\text{В}/\text{м}$ ), формула (1);

$a, c$  – параметры, характеризующие размеры и форму частицы, обозначающие радиус и полуось вращения, м [3, табл. 2.3];

$N$  – фактор деполяризации [3, табл.2.3].

Для оценки наибольшего значения заряда, возникающего в частицах вещества имеющих сферическую форму, формула Мора (5) преобразуется в следующую формулу (Кл):

$$Q_{\text{ВЕЩ}}^{\text{MAX}} = 400 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0 \cdot a^2 \cdot E_K \cdot \left[ 1 + \frac{2 \cdot \pi \cdot (\varepsilon' - 1)}{(3 \cdot \pi + \varepsilon' - 1)} \right]. \quad (6)$$

Для оценки наибольшего значения заряда, возникающего в частицах вещества, имеющих форму тонких пластин, формула Мора (5) преобразуется в формулу (Кл):

$$Q_{\text{ВЕЩ}}^{\text{MAX}} = 400 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0 \cdot a^2 \cdot E_K \cdot \left[ \frac{2 \cdot (\varepsilon' - 1)}{3} \right]. \quad (7)$$

В качестве примера в табл.1 приведены результаты расчетов критического значения напряженности электрического поля, при котором возникает корона; наибольшего значения объемного заряда, возникающего в частицах пыли, осевшей на вводах ВН, и расстояния их удаления от вводов ВН.

Расчеты выполнены для СТ типа ТМ-4000/10/0,4 кВ производства ПАО «Укрэлектроаппарат» [6] при следующих паспортных данных:  $S_{\text{ном}} = 4000 \text{ кВА}$ ; номинальные напряжения обмоток:  $U_{\text{ВН}} 10000 (\text{ЛБВ} \pm 2 \times 2,5\%) \text{ В}$ ;  $U_{\text{НН}} 400 \text{ В}$ ; схема и группа соединения  $Y / Y_0 - 0$ .

Расстояние между соседними вводами ВН СТ-10/0,4кВ составляет соответственно:  $L_{\text{АВ}} = 330 \text{ мм}$ ,  $L_{\text{ВС}} = 200 \text{ мм}$ . В качестве частиц, осевших на вводах ВН, принимается песочная пыль с радиусом  $a_{\text{ПЕСОК}} = 1,0 \cdot 10^{-3} \text{ м}$  [7] и диэлектрической проницаемостью  $\varepsilon'_{\text{ПЕСОК}} = 30$  [9], угольная пыль с условной длиной пластины  $a_{\text{УГОЛЬ}} = 88 \cdot 10^{-6} \text{ м}$  [8] и диэлектрической проницаемостью  $\varepsilon'_{\text{УГОЛЬ}} = 4$  [9], а также фарфор электротехнический с радиусом  $a_{\text{ФАРФОР}} = 1,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}$  [11] и диэлектрической проницаемостью  $\varepsilon'_{\text{ФАРФОР}} = 7$  [11].

Частицы песочной пыли, осевшие на вводах ВН СТ-10/0,4 кВ, условно имеют сферическую форму [7]. Следовательно, в соответствии с [3, табл. 2.3] соотношение  $c/a$  и фактор деполяризации  $N$  принимают значения:  $c/a = 1$ ;  $N = 4/3$ . Поэтому расчет наибольшего значения заряда, возникшего в частицах песочной пыли, выполняется по формуле (6).

Частицы угольной пыли, осевшие на вводах ВН СТ-10/0,4 кВ условно имеют форму тонких пластин [8], следовательно, в соответствии с [3, табл. 2.3] соотношение  $c/a$  и фактор деполяризации  $N$  принимают значения:  $c/a = 0$ ;  $N = 0$ . Поэтому расчет наибольшего значения заряда, возникшего в частицах угольной пыли, выполняется по формуле (7).

**Результаты исследований.** Проведенные расчеты позволяют сделать вывод о том, что объемные заряды, возникающие под действием критического значения напряженности электрического поля, в течение полупериода способны удалиться на расстояние, превышающее допустимое изоляционное расстояние между двумя соседними вводами (фазами В и С) СТ, тем самым обеспечивая полный пробой данного изоляционного промежутка с перерастанием последнего в двухфазное короткое замыкание.

Кроме этого, наибольшее значение заряда, возникающего на вводах СТ-10/0,4кВ в течение полупериода под действием коронирующего значения напряженности электрического поля, превышает нормируемое значение по ГОСТ 21023 [2] в **1473,51 раза**. Обобщающий анализ проведенных расчетов позволяет сделать заключение о том, что при постоянстве напряженности в течение полупериода заряд на вводах ВН для СТ с различным напряжением превышает нормируемое значение кажущегося заряда ЧР по ГОСТ 21023[2] (табл. 2).

Таблица 1

**Результаты расчета наибольшего значения заряда на вводах СТ типа ТМ-4000/10/0,4 кВ  
в частицах песочной, угольной пыли и электротехнического фарфора**

Последовательность расчета	Результаты расчета	Конструктивное расстояние между соседними вводами СТ, мм		Допустимое по ГОСТ 21023-75 значение кажущегося ЧР, Кл
		$L_{AB}$	$L_{BC}$	
$r_{BH(CH)} = \frac{0,1 \cdot d_{BH(CH)}}{2}, \text{ см}$	0,6	-	-	-
$E_K = 31,6 \cdot \left(1 + \frac{0,308}{\sqrt{r}}\right), \text{ кВ/см}$	44,16			
$x = 10 \cdot \sqrt{b_{II} \cdot E_K \cdot r \cdot T}, \text{ мм}$	308,85	330	200	
$Q_{ВВОДА} = 2 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0 \cdot r \cdot E_K, \text{ Кл}$	$1,47 \cdot 10^{-7}$	-		$10^{-10}$
$Q_{ПЕСОК}^{MAX} = 400 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0 \cdot a^2 \cdot E_K \cdot \left[1 + \frac{2 \cdot \pi \cdot (\varepsilon' - 1)}{(3 \cdot \pi + \varepsilon' - 1)}\right], \text{ Кл}$	$2,82 \cdot 10^{-9}$			
$Q_{УГОЛЬ}^{MAX} = 400 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0 \cdot a^2 \cdot E_K \cdot \left[\frac{2 \cdot (\varepsilon' - 1)}{3}\right], \text{ Кл}$	$7,61 \cdot 10^{-12}$			
$Q_{ФАРФОР}^{MAX} = 400 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0 \cdot a^2 \cdot E_K \cdot \left[1 + \frac{2 \cdot \pi \cdot (\varepsilon' - 1)}{(3 \cdot \pi + \varepsilon' - 1)}\right], \text{ Кл}$	$3,81 \cdot 10^{-9}$			

Таблица 2

**Результаты расчета наибольшего значения и максимального удаления заряда,  
возникшего на вводах СТ с подводимым напряжением 6-330 кВ**

№ п/п	Класс подводимого напряжения к обмоткам СТ, кВ	Диаметр шпильки ввода $d_{BH(CH)}, \text{ мм}$	Наибольшее расстояние удаления заряда $x, \text{ см}$ , от ввода СТ	Допустимое по ГОСТ 21023-75 значение кажущегося заряда ЧР $Q_{ДОП}, \text{ Кл}$	Заряд на вводе ВН СТ, $Q_B \cdot 10^{-7}, \text{ Кл}$	Превышение заряда над допустимым значением кажущегося заряда ЧР по ГОСТ 21023 [3] $Q_B/Q_{ДОП}$
1	6-35	12	308,85	$10^{-10}$	1,47	1473,51
2	110	42	538,21		4,47	4474,31
3	220	42	538,21		5,83	5825,64
		56	614,13			
4	330	89	761,67		8,96	8961,01

Таким образом, в СТ с подводимым напряжением 6-35 кВ при электрическом методе измерения характеристик ЧР объемные заряды, возникающие под действием критического значения напряженности электрического поля в течение полупериода способны преодолеть изоляционное расстояние между двумя соседними вводами, тем самым обеспечивая распространение стримера к соседним фазам, образованию полного пробоя данного изоляционного промежутка и созданию между вводами (фазами) каналов высокой проводимости, через которые после этого начнут проходить токи короткого замыкания.

В СТ с подводимым напряжением 110-330 кВ и более при электрическом методе измерения

характеристик ЧР объемные заряды, образованные под действием критического значения напряженности электрического поля в течение полупериода, не способны преодолеть сопротивление молекул воздуха в изоляционном (межфазном) пространстве, и их дальнейшее распространение к соседним вводам (фазам) СТ прекращается, т.е. в данном случае будет иметь место коронный разряд, вносящий определенный уровень помех при измерении.

**Выводы.** 1. Получила дальнейшее продолжение методика, позволяющая определить в СТ с подводимым напряжением 6-330 кВ максимальное значение, заряда, возникшего на вводах трансформатора под действием критического

значения напряженности электрического поля, максимальное удаление этих зарядов от вводов ВН трансформатора, а также максимальное значение заряда в частицах осевшей пыли на вводах ВН последних.

2. Так как в настоящее время отсутствует стандарт для определения метода измерения характеристик ЧР в СТ с подводимым напряжением 6-35 кВ, поэтому для исключения вероятности пробоя межфазных изоляционных промежутков необходимо дополнить ГОСТ 21023 [2] настоящим методом, в котором испытания каждой фазы следует проводить в отдельности на холостом ходу, прикладывая в соответствии с ГОСТ 21023 [2] наибольшее рабочее напряжение длительностью не более 10 минут, а также нормируемое испытательное напряжение длительностью 60 минут. Целесообразно также применять акустические методы измерения характеристик ЧР.

3. В СТ с подводимым напряжением 6-35кВ при электрическом методе измерения характеристик ЧР необходима разработка методов, позволяющих снизить действие коронных разрядов, в том числе снизить уровень помех, наводимых самой короной.

4. При электрическом методе измерения характеристик ЧР с целью снижения уровня помех от короны, возникающих на вводах СТ с подводимым напряжением 110 кВ и более, необходима установка электростатических экранов со сферической поверхностью или установка электростатических экранов тороидальной формы в СТ с подводимым напряжением до 220 кВ включительно, если установка последних обеспечивает отсутствие короны. Для снижения уровня помех от короны при измерении характеристик ЧР на металлических частях СТ всех классов напряжения, находящихся под высоким электрическим потенциалом, на незаземленных металлических узлах и деталях испытательной установки, а также на заземленных металлических узлах и деталях с острыми кромками необходима установка электростатических экранов.

#### Л и т е р а т у р а

1. ГОСТ 1516.1-76.: Электрооборудование переменного тока на напряжения от 3 до 500 кВ. Требования к электрической прочности изоляции.– М.: ИПК Издательство стандартов, 1978.
2. ГОСТ 21023-75.: Трансформаторы силовые. Методы измерений характеристик частичных разрядов при испытаниях напряжением промышленной частоты.– М.: Изд-во Стандартов, 1976.–20 с.
3. Кармазин В.В. Магнитные и электрические методы обогащения. Учебник для вузов/ Кармазин В.В., Кармазин В.И.–М.:Недра, 1988.–304 с.
4. Загирияк М.В. Изоляция и перенапряжения в электрических системах и установках высокого напряжения: учебное пособие / М.В. Загирияк, Б.И. Невзлин, В.В. Орлов.–Х.: Недра, 2012.– 552 с.
5. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. В трех частях. Учебник для

энергетических и электротехнических вузов и факультетов. 4-е изд.– М.: Высшая школа, 1964.–749 с.

6. ПАО "Укрэлектроаппарат" <http://www.uea.com.ua/> (дата обращения 03.10.2017).

7. Лифшиц И.Г. Строительные материалы, изделия и детали: учебное пособие для горных техникумов/Лифшиц И.Г., Хитров В.Г., Евтушенко А.И.–М.: Углетехиздат, 1959.–223 с.

8. Анцыферов М.С. Справочник машиностроителя. Том 2./М.С.Анцыферов и др.- 2-е изд., испр. и доп.–М.:Машгиз, 1956.–559 с.

9. Dielektricheskaya-pronicaemost <http://info+494622@rusautomation.ru/> (дата обращения 28.09.2017).

10. ПАО "ЗТР" <http://www.ztr.ua/> (дата обращения 02.10.2017).

11. Борисоглебский П.В. Техника высоких напряжений: учебное пособие для студентов энергетических и электротехнических факультетов и вузов/Борисоглебский П.В., Дмоховская Л.Ф., Ларионов В.П., Пинталь Ю.С., Разевиг Д.В., Рябкова Е.Я.–Л.: Энергия, 1964.–471с.

#### References

1. GOST 1516.1-76.: AC electrical equipment for voltages from 3 to 500 kV. Requirements for the electrical strength of insulation. – Moscow: IPK Publishing House of Standards, 1978.
2. GOST 21023-75.: Power transformers. Methods for measuring the characteristics of partial discharges during tests with voltage of industrial frequency. – Moscow: Publishing House of Standards, 1976.–20 p.
3. Karmazin V.V. Magnetic and electrical methods of enrichment. Textbook for high schools / Karmazin V.V., Karmazin V.I.–M.: Nedra, 1988.–304 p.
4. Zagirnyak M.V. Isolation and overvoltage in electrical systems and high-voltage installations: a tutorial / M.V. Zagirnyak, B.I. Nevzlin, V.V. Orlov.– H.: Nedra, 2012.–552 p.
5. Bessonov L.A. Theoretical bases of electrical engineering. In three parts. Textbook for energy and electrical engineering universities and faculties. 4 th ed. – Moscow: Higher School, 1964.–749 p.
6. PC "Ukrelektroaparat" <http://www.uea.com.ua/> (date accessed 03.10.2017).
7. Lifshits I.G. Construction materials, products and parts: a textbook for mining technical schools / Lifshits I.G., Khitrov V.G., Evtushenko A.I.–M.: Ugletekhizdat, 1959.–223 p.
8. Antsyferov M.S. Handbook of machine builder. Volume 2. /Antsyferov M.S. and anoth., 2 th ed., corr. and add.–M.: Mashgiz, 1956.–559 p.
9. Dielektricheskaya-pronicaemost <http://info+494622@rusautomation.ru/>(date accessed 28.09.2017).
10. PC "ZTR" <http://www.ztr.ua/> (date accessed 02.10.2017).
11. Borisoglebsky P.V. High voltage technology: a manual for students of power and electrical engineering faculties and universities/Borisoglebsky P.V., Dmohovskaya L.F., Larionov V.P., Pintal Yu.S., Razevig D.V., Ryabkova E.Ya.–L.: Energy, 1964.–471p.

**Syrtsov A.I., Polovinka D.V., Parsentiev O.S.**  
**CALCULATION OF THE LEVEL OF CORONARY DISCHARGES ARISING FROM ELECTRICAL METHOD OF MEASUREMENT OF**

**CHARACTERISTICS PARTIAL DISCHARGE IN POWER TRANSFORMERS WITH UNDER VOLTAGE 6-330 KV**

*To assess the possibility of conducting tests to measure the characteristics of partial discharges (PDs) in the insulation of power transformers for general industrial use (PTs) with a voltage of 6-330 kV, a method has been developed that makes it possible to determine the critical value of the electric field strength at which a corona or streamer appears, the largest value of the space charge arising on metal current leads of high voltage inputs (HVIs) of these transformers under the influence of electric field strength.*

*The value of the maximum removal of space charges from the inputs of the higher voltage of PTs is determined, as well as the maximum value of the charge in the particles of the settled dust at the HVIs.*

*The measures allowing to reduce the effect of corona discharges in PTs with input voltage of 6-35 kV under the electric method of measuring the characteristics of partial discharges, including measures to reduce the level of interference in a PTs with a voltage of 110 kV or more are suggested.*

*Keywords: three-phase power transformer, partial discharges, critical electric field strength, space charge, corona, streamer, interphase isolation gap.*

**Сырцов Анатолий Иванович** – к.т.н., доцент кафедры «Электромеханика» ГОУ ВПО ЛНР «Луганский национальный университет имени Владимира Даля», г. Луганск.

**E-mail:** syrctsov.@lds.net.ua

**Syrctsov Anatoli Ivanovich** – Candidate of Sciences, a dosent of the Chair «Electromechanics», State Educational

Establishment of Higher Professional Education «Lugansk Vladimir Dahl National University».

**E-mail:** syrctsov.@lds.net.ua

**Половинка Дмитрий Васильевич** – к.т.н., доцент, заведующий кафедрой «Электротехнические системы электропотребления» ГОУ ВПО ЛНР «Луганский национальный университет имени Владимира Даля», г. Луганск.

**E-mail:** pdv-ese@mail.ru

**Polovinka Dmitri Vasilevich**—Candidate of Sciences, a dosent of the Chair «Electrotechnical Systems of Electroconsumption», State Educational Establishment of Higher Professional Education «Lugansk Vladimir Dahl National University».

**E-mail:** pdv-ese@mail.ru

**Парсентьев Олег Сергеевич** – ассистент кафедры «Электротехнические системы электропотребления» ГОУ ВПО ЛНР «Луганский национальный университет имени Владимира Даля», г. Луганск.

**E-mail:** parsentevo@mail.ru

**Parsentiev Oleg Sergeivich** – a chair assistant of «Electrotechnical Systems of Electroconsumption», State Educational Establishment of Higher Professional Education «Lugansk Vladimir Dahl National University».

**E-mail:** parsentevo@mail.ru

**Рецензент: Тарасенко Олег Владимирович**, кандидат технических наук, доцент, декан факультета электротехнических систем ГОУ ВПО ЛНР «Луганский национальный университет им. В. Даля».

*Статья подана 10.11.2017*



УДК 621.59(075.8)

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕЗОНАНСНЫХ ГАЗОДИНАМИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ ВО ВСАСЫВАЮЩЕЙ СИСТЕМЕ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ПОРШНЕВЫХ КОМПРЕССОРОВ

Рутковский Ю.А., Рутковский А.Ю.

### USE OF RESONANT GASODYNAMIC PHENOMENA IN A SUCTION SYSTEM FOR INCREASING THE EFFICIENCY OF THE WORK OF PISTON COMPRESSORS

Rutkovskiy Yu. A., Rutkovskiy A.Yu.

Приведены результаты экспериментальных исследований влияния колебаний давления газа во всасывающей системе поршневого компрессора на основные параметры его работы. Показано влияние резонансных явлений в газовых коммуникациях компрессора с цилиндрами двойного действия на режимы и экономичность работы поршневых компрессоров в промышленных условиях их эксплуатации. Получены аналитические расчетные зависимости влияния колебаний давления газа на производительность, мощность и удельный расход энергии.

**Ключевые слова:** поршневой компрессор, экспериментальные исследования, колебания давления газа, резонансные явления, всасывающая система.

**Введение.** Резонансные колебания давления газа во всасывающих и нагнетательных системах поршневых машин издавна привлекают внимание специалистов, так как научно обоснованное использование этих колебаний позволяет повысить мощность двигателей внутреннего сгорания до 47 % [1], а производительность поршневых компрессоров до 20–25 % [2–6].

Эффект увеличения производительности компрессора резонансными колебаниями давления достигается практически без капитальных и эксплуатационных затрат — подбором длины всасывающего трубопровода. Для наддува используются колебания столба газа в трубопроводе, возникающие в результате периодического всасывания. Колебания давления имеют место при любой длине трубопровода, но наибольшей амплитуды они достигают при резонансной длине, когда совпадут собственная частота колебания газового столба  $\omega_0$  и частота главной резонирующей гармоники  $\omega$  возмущающих усилий, то есть резонанс возможен при условии, когда

$$\omega_0 = \omega. \quad (1)$$

Однако резонансные явления не нашли практического применения в компрессорных машинах. Одной из главных причин такого положения является отсутствие количественных показателей влияния во всасывающем тракте термодинамических и газодинамических процессов на значения объемного коэффициента, коэффициента давления и температурного коэффициента, определяющих в конечном итоге коэффициент подачи и действительную производительность компрессора. Отсутствует сравнительный анализ влияния различных зон (дорезонансной, резонансной и зарезонансной) всасывающей системы, включающей в себя не только всасывающий трубопровод, но и всасывающие клапаны и полость цилиндра, на режим работы компрессора и его экономичность.

**Постановка задачи.** На основании выявленных причин, объясняющих отсутствие практического использования резонансных явлений во всасывающей системе для повышения эффективности поршневых компрессоров, ставится задача установления закономерностей между термодинамическими и газодинамическими процессами в системе «всасывающий трубопровод – всасывающий клапан – цилиндр», обусловленными наличием резонансных колебаний давления газа, и отражения их влияния на важнейшие технико-экономические показатели работы поршневых компрессоров. Конечной целью исследований является получение резонансных эксплуатационных характеристик поршневых компрессоров, которые устанавливали бы связь между переменной относительной длиной всасывающего трубопровода  $\bar{L}_{BC}$  и относительными значениями коэффициента подачи  $\bar{\lambda}$ , производительности  $\bar{Q}$ , мощности  $\bar{N}$ ,

удельной мощности  $\bar{n}$ , а также температуры газа в С.Т.В. и С.Т.Н. (стандартных точках всасывания и нагнетания).

Наличие таких характеристик предоставило бы возможность изготовителям и потребителям компрессорных машин выбрать оптимальные режимы исходя из конкретных условий эксплуатации компрессоров. Достоверность теоретических результатов подтверждается экспериментальными данными исследования компрессорной станции ЗИФ ШВКС-5 в лабораторных условиях, а также компрессоров ВП-50/8М и ВП-20/8М на стендах Краснодарского завода-изготовителя этих машин, компрессоров 2ВГ, 5Г-100/8, 4ВМ10-100/8 в производственных условиях Юргинского машиностроительного завода и шахт «Украина», № 10 им. Артема ПО «Центруголь».

**Изложение основных материалов.**

Определение условий наступления резонансных колебаний давления газа во всасывающем трубопроводе сводится к достаточно точному расчету частоты собственных (свободных) колебаний газа в трубопроводе и определению его резонансной длины. Частота собственных колебаний газа зависит от формы трубопровода, его диаметра и длины, величины и расположения емкостей, находящихся в установке, в том числе и переменного объема цилиндра, присоединяемого к цилиндру в процессе всасывания. На значение частоты собственных колебаний оказывает влияние скорость звука в газе, зависящая от плотности газа и его температуры.

На рисунке 1 приведена наиболее часто встречающаяся в практике схема всасывающей системы компрессора: к одному концу трубы присоединен цилиндр двухстороннего действия, объем которого периодически меняется, другой конец трубы открыт в атмосферу.

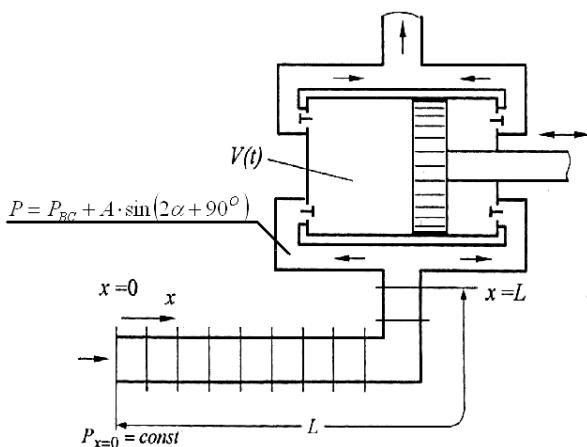


Рис. 1. Схема всасывающей системы поршневого компрессора с цилиндром двойного действия в первой ступени и переменной длиной всасывающего трубопровода

На рисунке 2 представлены циклограммы колебаний давления воздуха во всасывающем патрубке и индикаторные диаграммы 1-й ступени компрессора ВП-50/8М, снятые стробоскопическим индикатором МАИ-2 для трех значений длин всасывающего трубопровода: а) дорезонансной, когда длина трубопровода  $L_{BC} < L_{PE3}$ ; б) резонансной, когда  $L_{BC} = L_{PE3}$  и в) зарезонансной, когда  $L_{BC} > L_{PE3}$ .

Из рисунка 2 видно, что колебания давления газа в трубопроводе при резонансе имеют строго синусоидальную форму, отражающую влияние второй (главной) гармоники возмущающего импульса.

Из рассмотрения кривых, представленных на рисунке 2, следует, что при  $\bar{L}_{BC} = L_{PE3}$  (рис. 2, б) момент наступления максимального значения амплитуды совпадает с моментом прихода поршня в мертвую точку. В этом случае, как показывают экспериментальные измерения [7], производительность компрессора имеет наибольшее значение. При  $\bar{L}_{BC} > L_{PE3}$  (рис. 2, в) момент достижения максимального давления в волновом процессе происходит с отставанием на  $90^\circ$  от момента нахождения поршня в мертвой точке. Условия наполнения цилиндра газом здесь иные и это обстоятельство отражается на работе всасывающих клапанов, а также на производительности и удельных затратах энергии на компримирование газов [6–9].

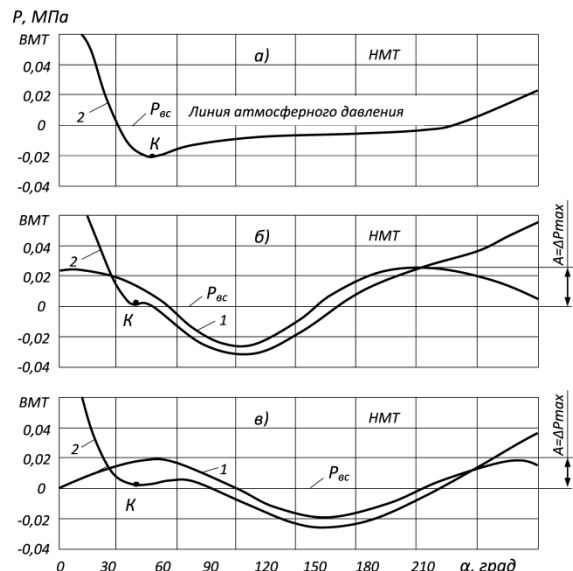


Рис.2. Циклограммы резонансных колебаний давления воздуха во всасывающем патрубке (1) и индикаторные диаграммы 1-й ступени (2) компрессора ВП-50/8М, развернутые по углу  $\alpha$  поворота кривошипа:

- а)  $\bar{L}_{вс} = 0$ ; б)  $\bar{L}_{вс} = 1$ ; в)  $\bar{L}_{вс} = 1,15$
- (т. К — момент открытия всасывающего клапана)

С учетом результатов исследований [11] коэффициент подачи поршневого компрессора при наличии резонансных колебаний давления во всасывающей системе может быть определен по формуле:

$$\lambda = \frac{Q}{Q_T} = \lambda_0 \lambda_p \lambda_T = \lambda_0 (\lambda_{p1} + \lambda_{p2}) \lambda_{T1} \cdot \lambda_{T2} \cdot \lambda_{T3}, \quad (2)$$

где  $Q$  — действительная производительность компрессора, м<sup>3</sup>/мин;  $Q_T$  — производительность идеального (теоретического) компрессора [3], м<sup>3</sup>/мин;  $\lambda_0$  — объемный коэффициент, учитывающий уменьшение действительной производительности компрессора из-за расширения газа, оставшегося после нагнетания во вредном пространстве;  $\lambda_p = \lambda_{p1} + \lambda_{p2}$  — коэффициент давления, учитывающий уменьшение производительности за счет падения давления в цилиндре в результате дросселирования газа через всасывающие клапаны ( $\lambda_{p1}$ ) и влияния колебания давления во всасывающем патрубке ( $\lambda_{p2}$ );  $\lambda_T = \lambda_{T1} \cdot \lambda_{T2} \cdot \lambda_{T3}$  — тепловой коэффициент, учитывающий уменьшение массы газа из-за повышения его температуры за счет теплообмена между горячими стенками цилиндра и всасываемым газом ( $\lambda_{T1}$ ) за счет дросселирования газа при прохождении его через всасывающие клапаны ( $\lambda_{T2}$ ), и за счет адиабатического сжатия газа в волне колебательного процесса, совпадающего по фазе с моментом прихода поршня в мертвую точку ( $\lambda_{T3}$ ).

Коэффициенты влажности и плотности для упрощения приняты  $\lambda_{вл} = 1$ ;  $\lambda_{пл} = 1$  [3].

Для сравнения показателей введем относительные безразмерные величины. Тогда зависимости будут носить типовой характер.

1. Относительная длина всасывающего трубопровода:

$$\bar{L}_{BC} = \frac{L_{BC}}{L_{PE3}}, \quad (3)$$

где  $L_{BC}$  — длина всасывающего трубопровода, м;  $L_{PE3}$  — оптимальная резонансная длина, при которой зафиксирована максимальная производительность компрессора, м (определяется опытным путем).

По относительной длине всасывающие трубопроводы различаются по зонам: дорезонансная зона, когда  $\bar{L}_{BC} < 1$ ; резонансная зона  $\bar{L}_{BC} = 0,9...1,15$ ; зарезонансная зона  $\bar{L}_{BC} > 1,1$ . Как показано в работе [7], влияние этих зон на

наполнение цилиндра газом и эффективность интенсификации различно.

2. Относительная производительность (в %):

$$\bar{Q} = \frac{Q}{Q_0} \cdot 100, \% , \quad (4)$$

где  $Q$  — действительная производительность компрессора со всасывающим трубопроводом с относительной длиной  $\bar{L}_{BC}$ , м<sup>3</sup>/мин;  $Q_0$  — действительная производительность компрессора при начальной длине всасывающего трубопровода ( $\bar{L}_{BC} = 0$ ), м<sup>3</sup>/мин.

3. Степень сжатия газа во всасывающем трубопроводе в процессе резонансных колебаний давления в нем по второй гармонике [8] определяется по формуле:

$$\varepsilon_{TP} = \frac{P_1}{P_{BC}} = \frac{P_{BC} + A}{P_{BC}} = 1 + \frac{A}{P_{BC}}, \quad (5)$$

где  $P_{BC}$  — номинальное давление газа во всасывающем трубопроводе, равное атмосферному давлению, Па;  $P_1$  — абсолютное максимальное давление газа в трубопроводе при волновом процессе, Па;  $A$  — амплитуда колебания давления, определяемая по циклограмме давления в трубопроводе, Па.

Используя формулы для определения  $\lambda_0$ ,  $\lambda_p$ ,  $\lambda_{T1}$ ,  $\lambda_{T2}$ ,  $\lambda_{T3}$ ,  $\lambda_T$  в зависимости от  $\varepsilon_{TP}$  и  $\beta_A$  [9–11] и подставляя их в формулу (2), получим формулу для определения коэффициента подачи поршневого компрессора в режиме резонансной интенсификации его работы:

$$\lambda = \left\{ 1 - a_1 \cdot \left[ \left( \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_{TP}^k \cdot \frac{T_X}{T_{BC}} \right)^{\frac{1}{n1}} - 1 \right] \right\} \times \times \left[ (1,4...1,3) \cdot \varepsilon_{TP}^{0,667} - \varepsilon_{TP} \beta_A - (0,4...0,3) \right] \times \times \left[ 1 - \frac{0,06}{\left( D_1 \cdot \rho_{BC} \cdot \varepsilon_{TP}^k \cdot C_P \right)^{0,2}} \cdot \left( \frac{S}{D_1} + 1 \right) \cdot \left( \varepsilon^{\frac{k-1}{k}} \right) \right] \times \times \left[ 1 - \frac{k-1}{k} \cdot \frac{\beta_A \cdot (4 - \varepsilon_{TP}) - (\varepsilon_{TP} - 1)}{3 \cdot \varepsilon_{TP}^k \cdot (1 + \beta_A)} \right] \cdot \left( 2 - \varepsilon_{TP}^{\frac{k-1}{k}} \right), \quad (6)$$

где  $a_1$  — относительное вредное пространство цилиндра первой ступени;  $\varepsilon_0 = \left(\frac{D_1}{D_2}\right)^2$  — относительное повышение давления в цилиндре при условии полного охлаждения газа в промежуточном холодильнике ( $T_X = T_{BC}$ );  $D_1$  и  $D_2$  — диаметры цилиндров первой и второй ступени;  $T_X$  — абсолютная температура газа в С.Т.В. (°К) второй ступени;  $T_{BC}$  — абсолютная температура газа в С.Т.В. первой ступени;  $\beta_A$  — относительная потеря давления во всасывающих клапанах;  $\rho_{BC}$  — плотность всасываемого газа, кг/м<sup>3</sup>;  $C_p$  — удельная теплоемкость газа при постоянном давлении,  $\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{град}}$ ;  $S$  — ход поршня, м;  $\varepsilon$  — относительное повышение давления в цилиндре первой ступени;  $k$  — показатель адиабаты;  $n_1$  — показатель политропы.

В качестве примера выполним расчет коэффициентов  $\lambda_0$ ,  $\lambda_p$ ,  $\lambda_{T1}$ ,  $\lambda_{T2}$ ,  $\lambda_{T3}$  и  $\lambda$  для компрессора ВП-50/8М в зависимости от степени сжатия  $\varepsilon_{TP}$  и относительной длины всасывающего трубопровода  $\bar{L}_{BC}$  при использовании прямооточных клапанов.

На рисунке 3 показаны графические зависимости функций  $\lambda_0 = f(\varepsilon_{TP})$ ,  $\lambda_p = f(\varepsilon_{TP})$ ,  $\lambda_{T1} = f(\varepsilon_{TP})$ ,  $\lambda_{T2} = f(\varepsilon_{TP})$ ,  $\lambda_{T3} = f(\varepsilon_{TP})$ ,  $\lambda_T = f(\varepsilon_{TP})$ ,  $\lambda = f(\varepsilon_{TP})$  для компрессора ВП-50/8М, из поведения которых видно, что наибольшее изменение при возрастании амплитуды колебаний давления газа во всасывающем трубопроводе и степени сжатия  $\varepsilon_{TP}$  претерпевают два коэффициента: коэффициент давления  $\lambda_p$  (он увеличивается со значения 0,98 до 1,3 при изменении  $\varepsilon_{TP}$  от 1 до 1,4) и тепловой коэффициент  $\lambda_{T3}$  (его значение уменьшается на 10 % при увеличении  $\varepsilon_{TP}$  от 1 до 1,4).

Как и следовало ожидать [11], значения коэффициентов  $\lambda_0$ ,  $\lambda_{T1}$ ,  $\lambda_{T2}$  остаются практически без изменения. В силу этого обстоятельства результирующий тепловой коэффициент  $\lambda_T$  при увеличении  $\varepsilon_{TP}$  уменьшается пропорционально тепловому коэффициенту  $\lambda_{T3}$ .

В конечном итоге влияние тепловых факторов приводит к снижению коэффициента подачи  $\lambda$  и, следовательно, к уменьшению эффективности резонансной интенсификации компрессора по сравнению с максимально возможной.

Наибольшую информацию о поведении рассматриваемых коэффициентов и изменении

производительности могут дать зависимости этих величин от относительной длины всасывающего трубопровода  $\bar{L}_{BC}$ , т. е. зависимости  $\lambda_{01} = f(\bar{L}_{BC})$ ;  $\lambda_p = f(\bar{L}_{BC})$ ;  $\lambda_T = f(\bar{L}_{BC})$ ;  $\lambda = f(\bar{L}_{BC})$ ;  $\bar{Q} = f(\bar{L}_{BC})$ ;  $Q = f(\bar{L}_{BC})$ .

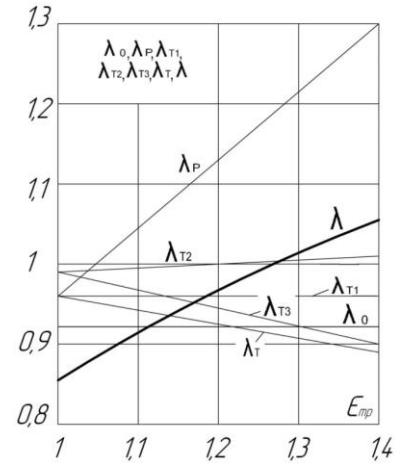


Рис. 3. Зависимости объемного коэффициента  $\lambda_0$ , коэффициента давления  $\lambda_p$ , тепловых коэффициентов  $\lambda_{T1}$ ,  $\lambda_{T2}$ ,  $\lambda_{T3}$ ,  $\lambda_T$  и коэффициента подачи  $\lambda$  компрессора ВП-50/8М от степени сжатия воздуха  $\varepsilon_{TP}$  во всасывающем трубопроводе (клапаны прямооточные типа ПИК)

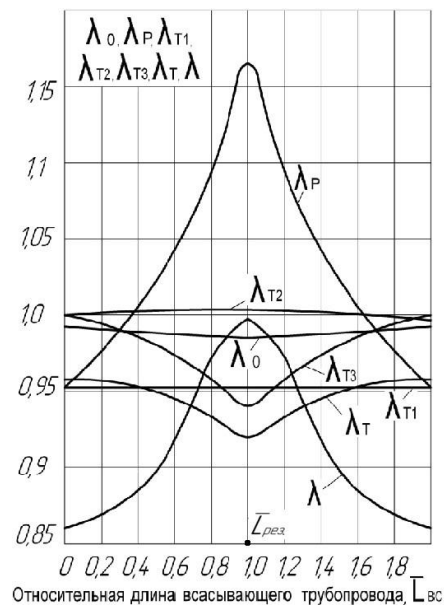


Рис. 4. Зависимости объемного коэффициента  $\lambda_0$ , коэффициента давления  $\lambda_p$ , тепловых коэффициентов  $\lambda_{T1}$ ,  $\lambda_{T2}$ ,  $\lambda_{T3}$ ,  $\lambda_T$  коэффициента подачи  $\lambda$  компрессора ВП-50/8М от относительной длины всасывающего трубопровода  $\bar{L}_{BC}$  (клапаны прямооточные типа ПИК)

На рисунке 4 представлены кривые изменения коэффициентов  $\lambda_0, \lambda_p, \lambda_{T1}, \lambda_{T2}, \lambda_{T3}, \lambda_T$  и  $\lambda$  для компрессора ВП-50/8М с прямооточными клапанами ( $\beta_A = 0,04$ ) в зависимости от относительной длины всасывающего трубопровода ( $\bar{L}_{BC}$ ).

Как видно, наибольшее изменение при переходе всасывающей системы из дорезонансной зоны ( $\bar{L}_{BC} < 1$ ) в зарезонансную ( $\bar{L}_{BC} > 1$ ) имеет место для коэффициента давления  $\lambda_p$  и третьего теплового коэффициента  $\lambda_{T3}$  и связанных с ними результирующего теплового коэффициента  $\lambda_T$  и коэффициента подачи  $\lambda$ , отражающего влияние всех рассматриваемых факторов на производительность компрессора.

Коэффициент подачи  $\lambda$ , как видно из рисунка 4, изменяется в пределах 0,86...1, достигая максимального значения при ( $\bar{L}_{BC} = 1$ ).

Если принять значение  $\lambda$  при  $\bar{L}_{BC} = 0$  за 100 %, то повышение коэффициента подачи при  $L_{BC} = L_{PE3}$  составит, как показано выше, 16,3 %.

Этот результат совпадает с экспериментальными данными, полученными при испытании компрессора ВП-50/8М на стенде завода-изготовителя [6].

В работе [9] получены эмпирические экспоненциальные зависимости степени повышения давления во всасывающем трубопроводе  $\varepsilon_{TP}$  от его относительной длины  $\bar{L}_{BC}$  для различных по конструкции всасывающих клапанов. Форма этих зависимостей для всех конструкций клапанов, независимо от типа компрессора, имеет одинаковый вид, выражаемый формулой:

$$\varepsilon_{TP} = 1 + B \cdot \exp \left[ -C (\bar{L}_{BC} - 1)^2 \right], \quad (7)$$

где  $B$  и  $C$  — опытные коэффициенты, значения которых определяются в зависимости от конструкции и сопротивления всасывающих клапанов: а) прямооточные клапаны:  $B = 0,247$ ;  $C = 5,37$ ; б) кольцевые клапаны:  $B = 0,204$ ;  $C = 9,43$ ; в) тарельчатые клапаны:  $B = 0,162$ ;  $C = 13,6$ .

Действительная производительность компрессора на основании формулы (2) равна:

$$Q = Q_T \cdot \lambda = V_n \cdot n \cdot \lambda, \text{ м}^3/\text{мин}, \quad (8)$$

где  $V_n$  — объем, описываемый поршнем цилиндра первой ступени за один ход,  $\text{м}^3$ ;  $n$  — частота вращения коленчатого вала,  $\text{об}/\text{мин}$ .

Для наиболее часто применяемых на практике компрессоров с цилиндрами двойного действия формула (8) имеет вид [11]:

$$Q = i \cdot \frac{\pi \cdot D_1^2}{4} \cdot S \cdot \left( 1 - \frac{z \cdot d_\phi^2}{i \cdot D_1^2} \right) \cdot \lambda \cdot n = \\ = i \cdot \frac{\pi \cdot D_1^2}{4} \cdot S \cdot \xi \cdot \lambda \cdot n, \quad i^3 \hat{=} \hat{e} i, \quad (9)$$

где  $i$  — число рабочих полостей первой ступени;  $d_\phi$  — диаметр штока, м;  $z$  — число рабочих полостей первой ступени, в которых имеется шток;  $\xi = \left( 1 - \frac{k \cdot d_\phi^2}{i \cdot D_1^2} \right)$  — коэффициент, учитывающий уменьшение рабочего объема полости при наличии штока.

Подставляя в формулу (9) значение коэффициента подачи, определяемого уравнением (6), с учетом зависимости (7), получим уравнение резонансной характеристики поршневого компрессора, устанавливающее связь между производительностью компрессора и относительной длиной всасывающего трубопровода в пределах изменения её от  $\bar{L}_{BC} = 0$  до  $\bar{L}_{BC} \gg 1$  и сопротивлением всасывающих клапанов ( $\beta_A$ ), т. е.

$$Q = i \frac{\pi D_1^2}{4} S \xi \left\{ 1 - a_1 \left[ \varepsilon_0 (1+y)^{\frac{1}{k}} \frac{T_X}{T_{BC}} \right]^{\frac{1}{n_1}} - 1 \right\} \times \\ \times \left[ (1,4...1,3)(1+y)^{0,667} - \beta_A (1+y) - (0,4...0,3) \right] \times \\ \times \left[ 1 - \frac{0,06}{\left[ D_1 \rho_{BC} (1+y)^{\frac{1}{k}} C_p \right]^{0,2}} \left( \frac{S}{D_1} + 1 \right) \left( \varepsilon^{\frac{k-1}{k}} \right) \right] \times \quad (10) \\ \times \left[ 1 - \frac{k-1}{k} \frac{3\beta_A - y(1+\beta_A)}{3(1+y)^{\frac{1}{k}} (1+\beta_A)} \right] \times \\ \times \left[ 2 - (1+y)^{\frac{k-1}{k}} \right] n, \quad i^3 \hat{=} \hat{e} i,$$

где

$$y = B \cdot \exp \left[ -C (\bar{L}_{BC} - 1)^2 \right].$$

**Результаты исследований.** На рисунке 5 приведены экспериментальные и теоретические зависимости производительности компрессора ВП-50/8М, отражающие влияние резонансных явлений во всасывающей системе на наполнение цилиндра

газом. Их можно назвать резонансными характеристиками поршневого компрессора, позволяющими выбрать наиболее рациональный режим работы.

Построенные в относительных координатах  $\bar{Q}-\bar{L}_{BC}$ , зависимости имеют типовой характер и могут быть использованы как на стадии проектирования [6], так и в конкретных условиях эксплуатации. Как видно, теоретические зависимости  $\bar{\lambda} = f(\bar{L}_{BC})$ , совпадающие с зависимостями  $\bar{Q} = f(\bar{L}_{BC})$  (кривые 3 и 4), имеют практически одинаковую форму с экспериментальными кривыми (1 и 2) и дают одинаковые результаты эффективности интенсификации при резонансе колебаний давления газа при ( $\bar{L}_{BC} = 1$ ).

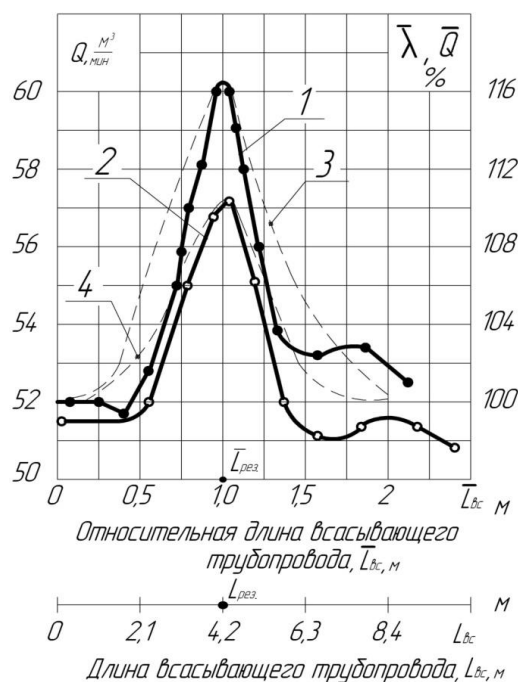


Рис.5. Экспериментальные зависимости производительности  $Q = f(L_{BC})$  от длины всасывающего трубопровода (кривые 1 и 2) и теоретические зависимости относительного коэффициента подачи  $\bar{\lambda} = f(\bar{L}_{BC})$  и относительной производительности  $\bar{Q} = f(\bar{L}_{BC})$  от относительной длины всасывающего трубопровода (кривые 3 и 4) компрессора ВП-50/8М. (Резонансные характеристики компрессора ВП-50/8М)  
Обозначения: 1 и 3 — прямоточные клапаны типа ПИК; 2 и 4 — кольцевые клапаны 10К-180

**Выводы.** Получены аналитические зависимости для определения коэффициента подачи и его составляющих коэффициентов, а также уравнение для определения действительной

производительности поршневых компрессоров с цилиндрами двухстороннего действия в первой ступени (а именно такие имеют наибольшее распространение в промышленности), позволяющие оценить эффективность интенсификации их работы путем использования резонансных колебаний давления газа во всасывающей системе. Они могут быть применены как на стадии проектирования, так и в процессе эксплуатации компрессорных машин.

Экспериментальные исследования, выполненные на компрессоре ВП-50/8М и ряде других машин [9], подтвердили результаты теоретического анализа. Полученные аналитические и экспериментальные характеристики производительности поршневых компрессоров при резонансной интенсификации их работы, наряду с температурными характеристиками [10], дают возможность изготовителям и потребителям компрессорных машин выбирать оптимальные режимы работы исходя из конкретных условий их эксплуатации. Поэтому представляется необходимым получение таких характеристик для вновь создаваемых компрессорных машин и включение их в техническую документацию компрессора, как это имеет место применительно к машинам динамического действия. Кроме зависимостей  $\bar{Q} = f(\bar{L}_{BC})$ , следует определять характеристики относительной индикаторной мощности  $\bar{N} = f(\bar{L}_{BC})$  и относительной удельной мощности  $n_{y\partial} = f(\bar{L}_{BC})$ , что даст возможность всесторонне оценить влияние резонансной интенсификации на все технико-экономические показатели поршневых компрессоров.

#### Л и т е р а т у р а

1. Боднер В.А. Повышение мощности двигателей внутреннего сгорания [Текст] / В.А. Боднер // Дизелестроение.-1939.- №9 – С. 17-22; №10-11. – С.29-30.
2. Френкель М.И. Поршневые компрессоры [Текст] / М.И. Френкель. – М.: Машиностроение, 1969. – 742с.
3. Пластинин П.И. Поршневые компрессоры. Том1. Теория и расчет [Текст] / П.И. Пластинин. - М.:Колос, 2000. - 456с.
4. Видякин Ю.А. Колебания и вибрации в поршневых компрессорах [Текст] / Ю.А. Видякин, Т.Ф. Кондратьева, Ф.П. Петрова, А.Г. Платонов // Л.: Машиностроение. - 1972. - 224с.
5. Гринь Н.П. Поршневые воздушные компрессорные машины нового поколения для ВРУ, реализующих циклы среднего и высокого давления [Текст] / Н.П. Гринь, Ю.Б. Наталуха, А.В. Смирнов // Технические газы.- 2009.- №6. – С.26-30.
6. Гогин Ю.Н. Оптимальные режимы работы поршневых компрессоров [Текст] / Ю.Н. Гогин, Ю.А. Рутковский, М.Г. Усачев // Вестник машиностроения. - 1967. - №11. – С. 47-50.
7. Рутковский Ю.А. Интенсификация работы оппозитных поршневых компрессоров акустическим наддувом [Текст] / Ю.А. Рутковский // Сборник трудов 13-й межд. научно-практической конференции по

компрессоростроению. Т2.- Сумы: Изд-во СумГУ.- 2004. – С.101-106.

8. Рутковский Ю.А. Резонансные волновые процессы во всасывающих системах поршневых компрессоров [Текст] / Ю.А. Рутковский // Технические газы.- 2010. - №2. – С.23-32.

9. Рутковский Ю.А. Производительность поршневых компрессоров при использовании резонансного наддува [Текст] / Ю.А. Рутковский // Компрессорное и энергетическое машиностроение.- 2008-2009.- №4(14), №1(15). – С.38-47.

10. Рутковский Ю.А. Тепловые процессы и температурные характеристики поршневых компрессоров при наличии резонансных колебаний давления газа во всасывающей системе [Текст] / Ю.А. Рутковский // Компрессорное и энергетическое машиностроение.- 2009.- №4(18). – С.44-49.

11. Рутковский Ю.А. Коэффициент подачи и производительность поршневого компрессора в условиях резонансной интенсификации его работы [Текст] / Ю.А. Рутковский // Компрессорное и энергетическое машиностроение.- 2010.- №1(19). – С.41-47.

#### References

1. Bodner, V. A. Increasing the power of internal combustion engines [Text] / V. A. Bodner // diesel technology.-1939.- No. 9 – S. 17-22; No. 10-11. – P. 29-30.

2. Frenkel M.I. Reciprocating compressors [Text] / M.I. Frenkel. - M.: Mechanical Engineering, 1969. - 742p.

3. Plastinin P.I. Reciprocating compressors. Volume1. Theory and calculation [Text] / P.I. Plastinin. - M.: Kolos, 2000. - 456s.

4. Vidyakin Yu.A. Vibrations and vibrations in reciprocating compressors [Text] / Yu.A. Vidyakin, T.F. Kondrat-eve, F.P. Petrova, A.G. Platonov // L: Machine-building. - 1972. - 224c.

5. Grin, N.P. Reciprocating air compressor machines of new generation for VRU, realizing medium and high pressure cycles [Text] / N.P. Grin, Yu.B. Natalukha, A.V. Smirnov // Technical gases.-2009.- №6. – P.26-30.

6. Gogin Yu.N. Optimal modes of operation of reciprocating compressors [Text] / Yu.N. Gogin, Yu.A. Rutkowski, M.G. Usachev // Bulletin of Machine Building. - 1967. - № 11. – P. 47-50.

7. Rutkovsky Yu.A. Intensification of operation of opposing reciprocating compressors by acoustic supercharging [Text] / Yu.A. Rutkovskiy // Collected Works of the 13th Int. Scientific and Practical Conference on Compressor Engineering. Т2.- Sumy: Publishing House of Sumy State University- 2004. – P.101-106.

8. Rutkovsky Yu.A. Resonant wave processes in suction systems of reciprocating compressors [Text] / Yu.A. Rutkovskiy // Technical gases. - 2010. - №2. - P.23-32.

9. Rutkovsky Yu.A. Performance of reciprocating compressors using resonant boosting [Text] / Yu.A. Rutkovskiy // Compressor and power engineering. - 2008-2009. - №4 (14), №1 (15). – P.38-47.

10. Rutkovsky Yu.A. Thermal processes and temperature characteristics of reciprocating compressors in the

presence of resonance oscillations of gas pressure in a suction system [Text] / Yu.A. Rutkovskiy // Compressor and Power Engineering .- 2009. - №4 (18). – P.44-49.

11. Rutkovsky Yu.A. The feed rate and productivity of a piston compressor under conditions of resonant intensification of its operation [Text] / Yu.A. Rutkovskiy // Compressor and power machine building.-2010.- № 1 (19). – P.41-47.

**Rutkovskiy Yu.A., Rutkovskiy A.Yu.**

#### USE OF RESONANT GASODYNAMIC PHENOMENA IN A SUCTION SYSTEM FOR INCREASING THE EFFICIENCY OF THE WORK OF PISTON COMPRESSORS

*The results of experimental studies of the effect of gas pressure fluctuations in the suction system of a piston compressor on the main parameters of its operation are presented. The influence of resonance phenomena in the gas communications of the compressor with double-action cylinders on the modes and efficiency of piston compressor operation in the industrial conditions of their operation is shown. Analytical calculated dependences of the effect of gas pressure fluctuations on productivity, power and specific energy consumption are obtained.*

**Key words:** piston compressor, experimental studies, gas pressure fluctuations, resonance phenomena, suction system.

**Рутковский Юрий Александрович**, к.т.н., профессор кафедры прикладной гидромеханики ГОУ ВПО ЛНР «Донбасский государственный технический университет», г. Алчевск, ЛНР.

**E-mail:** gem2007@mail.ru

**Rutkovskiy Yuri Alexandrovich**, Candidate of Sciences, professor of the Chair «Applied Hydromechanics» of State Educational Establishment of Higher Professional Education "Donbass State Technical University", Alchevsk, LNR.

**E-mail:** gem2007@mail.ru

**Рутковский Александр Юрьевич**, к.т.н., доцент кафедры горной энергомеханики и оборудования ГОУ ВПО ЛНР «Донбасский государственный технический университет», г. Алчевск, ЛНР.

**E-mail:** gem2007@mail.ru

**Rutkovskiy Yuri Alexandrovich**, Candidate of Sciences, docent of the Chair «Mining power mechanics and equipment» of State Educational Establishment of Higher Professional Education "Donbass State Technical University", Alchevsk, LNR.

**E-mail:** gem2007@mail.ru

**Рецензент:** *Литвинский Г.Г.*, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой строительных геотехнологий ВПО ЛНР «Донбасский государственный технический университет».

*Статья подана 24.11.2017*

УДК 624.15.155

## МЕТОДЫ, СХЕМЫ И СРЕДСТВА ВОДОПОНИЖЕНИЯ УРОВНЯ ГРУНТОВЫХ ВОД В СОВРЕМЕННОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Квенцель А.Л., Ремень В.И.

## METHODS, SCHEMES AND MEASURES OF DEPRIVATION OF GROUNDWATER LEVEL IN MODERN CONSTRUCTION

Kventsel A.L., Remen V.I.

В статье рассмотрены методы и схемы водопонижения уровня грунтовых вод при проведении строительных работ. На основании проведенного анализа предложены оптимальные варианты способа водопонижения в зависимости от уровня грунтовых вод и фильтрационных характеристик грунта.

**Ключевые слова:** водопонижение, грунтовые воды, иглофильтры, эжектор, электроосмос, коэффициент фильтрации.

**Введение.** Большинство строительных и монтажных работ по устройству оснований и фундаментов, подземных и гидротехнических сооружений, по прокладке и ремонту инженерных сооружений и сетей требует понижения уровня грунтовых вод. При этом конечный результат, качество и интенсивность основных работ во многом зависят от правильности выбора, совершенства и надежности водоотливных средств. В большинстве случаев водопонижение в грунтах обеспечивается в результате непрерывного поддержания в разветвленной сети специальных водопонижающих скважин (иглофильтров), погружаемых в грунт, сравнительно высокого вакуума (7-8 м вод. ст.). При необходимости водопонижения на большую глубину применяют иглофильтры со встроенным гидроструйным аппаратом. Такие иглофильтры получили название эжекторных [1].

**Целью настоящей работы** является обзор и анализ существующих методов и средств понижения уровня грунтовых вод и выбор наиболее эффективных в зависимости от геолого-технических условий строительства.

*Понижение уровня грунтовых вод открытым водоотливом с их притоком в выемки.* При устройстве выемок, расположенных ниже уровня грунтовых вод, необходимо осушать водонасыщенный грунт, чтобы обеспечить его разработку и предотвратить поступление грунтовых вод в котлован, траншею или подземную выработку

на период выполнения в них строительных работ. Осушение грунта выполняют открытым водоотливом или искусственным понижением уровня грунтовых вод.

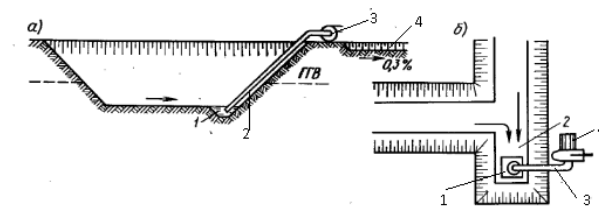


Рис. 1. Схема открытого водоотлива

а - из котлована (поперечный разрез); 1 - зумпф; 2 - всасывающая труба; 3 - насос; б - из траншеи (план); 1-зумпф; 2-ус; 3-всасывающая труба; 4-насос

Водоотлив применяют при незначительном притоке воды в выемки. Осушение выемки открытым водоотливом заключается в том, что при разработке котлована в водоносном грунте подошве выемки придают небольшой уклон (рис. 1) к устраиваемому в самой пониженной части приямку (зумпфу). Приямки устраивают вне габаритов сооружений на расстоянии 3...10 м друг от друга и заглубляют ниже основания сооружения на 0,5...0,6 м. Воду из приямков откачивают поршневыми, диафрагмовыми или центробежными насосами, а затем отводят по лоткам или водоотводным канавам от выемки. Затем разработку котлована ведут наклонными слоями с заглубленным зумпфом. При разработке траншей зумпф устраивают в специальном отсеке траншеи, называемом усом. Открытый водоотлив применяют в глинистых и песчаных пылеватых грунтах с коэффициентом фильтрации менее 1 м в сутки и отсутствии ниже дна осушаемой выемки напорных грунтовых вод. Недостаток этого метода осушения - возможность разжижения грунта и выноса его частиц фильтрующей водой.



*Понижение уровня грунтовых вод* - более совершенный, но и более сложный метод борьбы с их притоком в выемки. Уровень грунтовых вод понижают путем непрерывной откачки из специальных скважин, сооружаемых в массиве грунта. Для искусственного понижения уровня грунтовых вод разработан ряд эффективных способов, основными из которых являются иглофильтровый, вакуумный, электроосмотический и из открытых водопонижительных скважин.

При иглофильтровом способе искусственного понижения грунтовых вод используют иглофильтровые установки, состоящие из стальных труб с фильтрующим звеном в нижней части, водосборного коллектора и самовсасывающего вихревого насоса с электродвигателем. Стальные трубы погружают в обводненный грунт по периметру котлована или вдоль траншеи (рис.2).

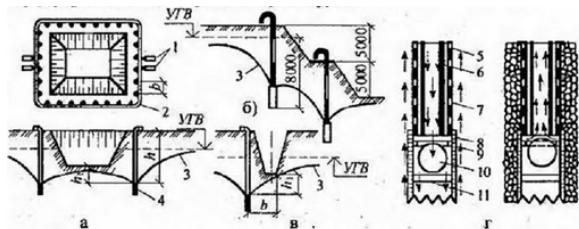


Рис. 2. Схема иглофильтрового способа понижения уровня грунтовых вод

а - для котлована при одноярусном расположении иглофильтров; б - то же, при двухъярусном расположении иглофильтров; в - для траншеи; г - схема работы фильтрующего звена при погружении в грунт и в процессе откачки воды; 1- насосы; 2-кольцевой коллектор; 3-депресссионная кривая; 4-фильтрующее звено; 5-фильтрационная сетка; 6-наружная труба; 7-внутренняя труба; 8-кольцевой клапан; 9-гнездо кольцевого клапана; 10-шаровой клапан; 11-ограничитель.

Фильтрующее звено состоит из наружной перфорированной и внутренней глухой труб. Наружная труба внизу имеет наконечник с шаровым и кольцевым клапаном. На поверхности земли иглофильтры присоединяют водосборным коллектором к насосной установке, обеспеченной резервными насосами. При работе насосов уровень воды в иглофильтрах понижается. Из-за дренирующих свойств грунта он понижается и в окружающих грунтовых слоях, образуя новую границу уровня грунтовых вод, называемую депрессионной кривой. Иглофильтры погружают в грунт через буровые скважины или путем нагнетания в трубу иглофильтра воды под давлением до 0,3 МПа (гидравлическое погружение). Поступая к наконечнику, вода опускает шаровой клапан, а кольцевой клапан, отжимаемый при этом сверху, закрывает зазор между внутренней и наружной трубами. Выходя из

наконечника под давлением, струя воды размывает грунт и обеспечивает погружение иглофильтра. Когда вода всасывается из грунта через фильтровое звено, клапаны занимают обратное положение : шаровой клапан за счет разрежения поднимается а кольцевой опускается, открывая воде, профильтровавшейся в зазор между обеими трубами фильтрового звена, путь в открытый снизу конец внутренней трубы.

Применение иглофильтровых установок наиболее эффективно в чистых песках и песчано-гравелистых грунтах. Наибольшее понижение уровня грунтовых вод, достигаемое в средних условиях одним ярусом иглофильтров, составляет около 5 м. При большей глубине понижения применяют двухъярусные установки. При вакуумном способе водопонижения применяют вакуумные водопонижительные установки, из которых наиболее распространены установки с эжекторными иглофильтрами. Установки (рис.3) используют для понижения уровня грунтовых вод в мелкозернистых грунтах (мелкозернистых и пылеватых песках, супесях, илистых и лессовых грунтах с коэффициентом фильтрации 0,02...1 м/сут), в которых применять легкие иглофильтровые установки нецелесообразно. При работе вакуумных водопонижительных установок вакуум возникает в зоне эжекторного иглофильтра.

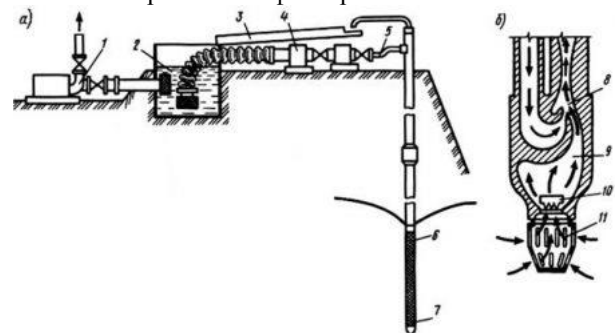


Рис. 3. Схема вакуумной установки а-вакуумная установка; б-схема действия эжекторного иглофильтра; 1-центробежный насос низкого давления; 2-циркуляционный резервуар; 3-сборный лоток; 4-напорный насос; 5-напорный рукав; 6-эжекторный иглофильтр; 7-напорная вода; 8-сопло; 9-всасываемая вода; 10-обратный клапан; 11-фильтровая сетка

Фильтровое звено эжекторного иглофильтра устроено по принципу легкого иглофильтра, а надфильтровое звено состоит из наружной и внутренней трубы с эжекторной насадкой [1,2]. Рабочую воду под давлением 750...800 кПа подают в кольцевое пространство между внутренней и наружной трубами и через эжекторную насадку она устремляется вверх по внутренней трубе. В результате резкого изменения скорости движения рабочей воды в насадке создается разрежение и тем самым обеспечивается подсос грунтовой воды. Грунтовая вода смешивается с рабочей и

направляется в циркуляционный бак. Из циркуляционного бака избыток воды (за счет поступления грунтовой) откачивается низконапорным насосом или сливается самотеком. В эжекторной иглофильтровой установке вакуум создается в глубине иглофильтра, что обеспечивает более интенсивный отсос воды и имеет исключительно важное значение при осушении грунтов с незначительной фильтрационной способностью. Один ярус иглофильтров позволяет уменьшить размеры котлована или траншеи, а следовательно уменьшается и объем земляных работ [2].

Для расширения области применения иглофильтровых установок в грунтах с коэффициентом фильтрации менее 0,05 м/сут используют явление *электроосмоса*. В этом случае наряду с иглофильтрами в грунт на расстоянии 0,5...1 м от иглофильтров в сторону котлована погружают стальные трубы или стержни (рис. 4).

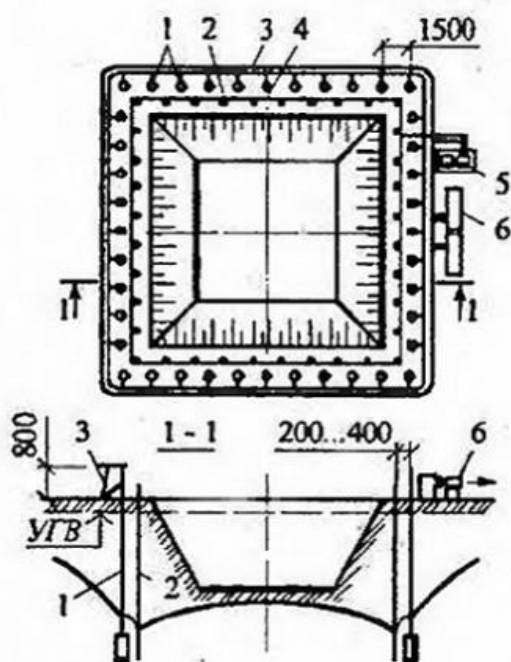


Рис. 4. Схема водопонижения с использованием электроосмоса

1-иглофильтр( катод); 2-труба ( анод); 3-коллектор; 4-токопровод; 5-насос; 6-генератор постоянного тока

Иглофильтры подключают к отрицательному (катод), а трубы или стержни - к положительному полюсу источника постоянного тока ( анод). Электроды размещают друг относительно друга в шахматном порядке. Шаг, или расстояние анодов и катодов в своем ряду одинаков - около 0,75...1,5 м, аноды и катоды погружают на одну и ту же глубину. В качестве источника электропитания применяют сварочные агрегаты или передвижные преобразователи. Мощность генератора постоянного тока определяют, исходя из того, что

на 1 м<sup>2</sup> площади электроосмотической завесы необходим ток силой 0,5...1 А и напряжением 30...60 В. Под действием электрического тока вода, содержащаяся в порах грунта, освобождается и перемещается в сторону иглофильтров. За счет движения этой воды коэффициент фильтрации грунта увеличивается в 5...25 раз.

Для понижения уровня грунтовых вод на глубину 4 м и более применяют открытые (соединяющиеся с атмосферой) *водопонижительные скважины*. Метод применяют, когда надо осушить большие строительные площадки с сильным притоком вод (коэффициент фильтрации более 2 м/сут).

Для сооружения скважин - колодцев на территории строительной площадки пробуривают скважины, которые оборудуют фильтровой колонной, включающей фильтр, отстойник и надфильтровые трубы. Внутри фильтровой колонны опускают высоконапорный специальный скважинный насос, которым и откачивают воду. Водопонижительные скважины просты в устройстве и надежны в эксплуатации.

**Выводы.** 1. На основании проведенного анализа установлена зависимость методов водопонижения от характеристик грунта по фильтрационной способности, гранулометрическому составу, пористости и пластичности.

2. Коэффициент фильтрации в зависимости от характеристик грунта изменяется в пределах от 0,005 м/сут (глина - электроосмос) до 100 м/сут (гравий с песком - поверхностный водоотлив).

#### Л и т е р а т у р а

1. Лямаев Б.Ф. Гидроструйные насосы и установки. Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1988. 256с.
2. Смородинов М.И. Водопонижительные установки. М.: Стройиздат, 1994. 117 с.

#### References

1. Lyamayev B.F. Hydrojet pumps and installations. L.: Machine building. Leningr. branch, 1988. 256p.
2. Smorodinov M.I. Water-destructive installations. M.: Stroiizdat, 1994. 117 p.

#### Kvenzel A.L., Remen V.I.

#### METHODS, SCHEMES AND MEASURES OF DEPRIVATION OF GROUNDWATER LEVEL IN MODERN CONSTRUCTION

*In the article methods and schemes of groundwater leakage during construction works are considered. Based on the analysis carried out, optimal variants of the method of water drainage are proposed, depending on the level of ground water and filtration characteristics of the soil.*

**Key words:** water depletion, ground water, iglofiltra, ejector, electroosmosis, filtration coeffici.

**Квенцель Анатолий Леонидович**, к.т.н., доцент кафедры «Общеобразовательные дисциплины», «Институт строительства, архитектуры и жилищно-

---

коммунального хозяйства», ГОУ ВПО ЛНР «Луганский национальный университет имени Владимира Даля».

**Kventsel Anatoliy Leonidovich**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the "General Education Disciplines" "Institute of Construction, Architecture and Housing and Communal Services", GOU VPO LPR "Luhansk National University named after Vladimir Dahl"

**Ремень Валентин Иванович**, к.т.н., доцент кафедры «Вентиляция, теплогазо- и водоснабжение», «Институт строительства, архитектуры и жилищно-коммунального хозяйства», ГОУ ВПО ЛНР «Луганский национальный университет имени Владимира Даля».

**Remen Valentin Ivanovich**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of "Ventilation, Heat, Gas and Water Supply" "Institute of Construction, Architecture and Housing and Communal Services", GOU VPO LPR "Luhansk National University named after Vladimir Dahl"

**Рецензент: Андрейчук Николай Данилович**, доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой «Вентиляция, теплогазо- и водоснабжение», «Институт строительства, архитектуры и жилищно-коммунального хозяйства», ГОУ ВПО ЛНР «Луганский национальный университет имени Владимира Даля»

*Статья подана 01.12.2017*

УДК 62-82

## ОЦЕНКА СИММЕТРИЧНОСТИ ТЯГОВЫХ И СКОРОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ГИДРОСЛЕДЯЩЕГО ПРИВОДА С ОДНОШТОКОВЫМИ ЦИЛИНДРАМИ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ

Скляревский А.Н.

## SCORE OF SYMMETRY PULL AND SPEED CHARACTERISTICS OF HYDRAULIC SERVO DRIVE POWER WITH ONE-PISTON CYLINDERS OF DIFFERENT TYPES

Sklyarevskiy A.N.

*Рассмотрены варианты применения в гидравлическом следящем приводе одноштоковых гидроцилиндров различных типов с целью обеспечения скоростных и тяговых характеристик при реверсивной работе привода. Разработана нелинейная математическая модель такого привода. Проведены расчетные исследования динамических и статистических характеристик при различных знаках входного сигнала. Выполнена оценка влияния ряда конструктивных факторов гидравлического привода на идентичность переходных процессов в нем и симметричность скоростных характеристик при реверсивной работе. Показано, что при определенном соотношении положительных перекрытий напорных и сливных дроссельных щелей золотника электрогидравлического усилителя мощности обеспечивается с приемлемой точностью идентичность динамических и скоростных характеристик гидравлического следящего привода.*

**Ключевые слова:** скоростные характеристики, динамика, математическая модель, следящий гидропривод, рассогласование, золотник.

**Введение.** В гидравлических следящих приводах различных машин и технологического оборудования (например, испытательного оборудования) для обеспечения симметричности скоростных и тяговых характеристик, а также идентичности динамических свойств при реверсивном режиме, применяют в основном двухштоковые гидроцилиндры двухстороннего действия или дифференциальные одноштоковые цилиндры с поддержанием постоянного давления в штоковой полости и управлением поршневой полостью [1]. Применение того или иного гидроцилиндра имеет известные преимущества и недостатки. Необходимо также отметить, что реализация гидравлического следящего привода на базе дифференциального цилиндра, имеющего определенное соотношение эффективных площадей, при обеспечении симметрии скоростных и тяговых

характеристик практически невозможна. Таким образом, разработка новых конструкций гидроцилиндров, обеспечивающих симметричность характеристик с минимизацией габаритов, и реализация их в составе следящего привода остается актуальной задачей.

**Целью** данной работы является анализ возможностей применения двух видов одноштоковых гидроцилиндров в гидравлическом следящем приводе для обеспечения симметричности скоростных и тяговых характеристик.

**Изложение основного материала.** Рассмотрим вариант применения одноштокового дифференциального гидроцилиндра, на шток которого действует позиционная нагрузка жесткостью  $C_0$ . В штоковой полости поддерживается постоянное давление. Суммарный объем жидкости  $\Delta W$ , подаваемый в поршневую полость цилиндра при изменении в ней давления на  $\Delta P_1$ , пренебрегая утечками, определяется выражением

$$\Delta W = W_1 \frac{\Delta P_1}{E} + A_1 \Delta X_3. \quad (1)$$

Здесь первый член уравнения представляет объем жидкости, потребный для ее сжатия в поршневой полости емкостью  $W_1$ , второй член – объем жидкости, необходимый для перемещения;  $E$  – модуль упругости жидкости;  $A_1$  и  $\Delta X_3$  – эффективная площадь поршня и величина его перемещения.

Преобразовывая выражение (1) с учетом что  $W_1 = W_0 + A_1 \Delta X_3$  ( $W_0$  – начальный объем управляемой полости), в окончательном виде получаем (индекс  $P$  опущен)

$$\frac{\Delta W}{W_0} = \frac{\Delta P}{\lambda^* E} \left( 1 + \lambda^* + \frac{\Delta P}{E} \right), \quad (2)$$

где  $\lambda^* = \frac{WC_0}{EA^2}$  [2].

Из соотношения (2) видно, что при положительном и отрицательном приращении  $\Delta P$  будут различные по модулю значения относительного объема  $\Delta \bar{W} = \frac{\Delta W}{W_0}$ , то есть различные развиваемые цилиндром усилия. Причем величина несимметричности зависит от соотношения величин  $\lambda^*$  и  $\frac{\Delta P}{E}$  [3]. Наименьшие несимметричные искажения наблюдаются в гидроприводе при  $\lambda^* \gg 1$ .

Альтернативным вариантом применения в следящем приводе может служить гидроцилиндр, схема которого приведена на рис. 3 в составе простейшего типового гидравлического следящего привода (ГСП) [3, 4].

Гидроцилиндр содержит основной поршень 13 со штоком 6, дополнительный неподвижный поршень 14 со штоком 7, жестко соединенным с корпусом 3, плунжер 8 с центрирующими пружинами 15. Рабочие полости 5 и 11 являются основными, 9 и 10 – вспомогательными. Полость 10 соединена со сливом посредством канала 12. Плунжер 8 в зависимости от знака перепада давлений  $\Delta P = P_2 - P_1$  соединяет полость 9 с соответствующей управляемой полостью (с полостью 11 при  $P_1 > P_2$ ; с полостью 5 при  $P_2 > P_1$ ).

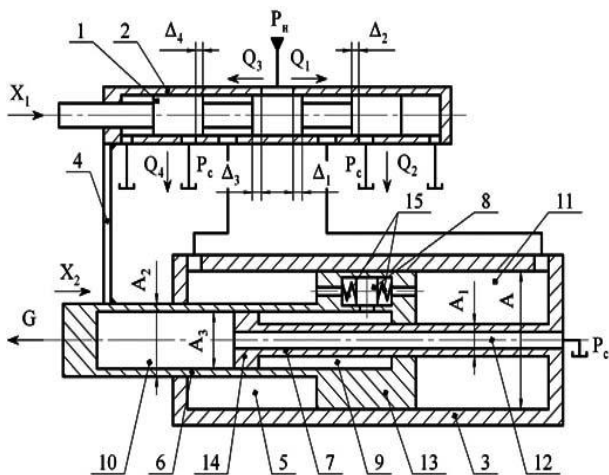


Рис. 1. Схема позиционного следящего привода:  
1 – золотник; 2 – втулка обратной связи;  
4 – обратная связь

При данных соотношениях соблюдается равенство эффективных площадей при движении

поршня гидроцилиндра в разные стороны  $A_{эф1} = A_{эф2} = A_{эф} = A - A_3$ .

При пренебрежимо малых величинах давления в полости 10, что реально обеспечивается в большинстве не следящих приводов ( $P_3 = P_c \approx 0$ ), и сил трения  $F_{тр} \approx 0$ , реализуется равенство скоростей поршня и развиваемых им усилий в разные стороны.

В случаях применения данного цилиндра в следящем гидроприводе ситуация меняется, так как при произвольной скорости движения и действия обратной связи, влияющей на закрытие управляющего золотника, давление в сливной полости не равно нулю. Поскольку эффективные площади штоковой и безштоковой полостей гидроцилиндра при движении поршня в одну из сторон не равны между собой, и их значения меняются в зависимости от направления движения, то имеет место несимметричность тяговой характеристики следящего привода (зависимости тягового усилия от величины рассогласования при фиксированной скорости слежения). Соответственно возникает несимметричность наиболее важной скоростной характеристики (зависимости скорости поршня от величины рассогласования) гидропривода [5, 6]. Предварительные исследования несимметричности скоростной характеристики на примере типового позиционного следящего привода по рис. 1 проведены при следующих допущениях: перекрытие щелей на золотнике положительные и отсутствуют перетечки по радиальным зазорам; нагрузка, действующая на шток, постоянна, направлена навстречу движению и значительно превышает силы трения в уплотнениях. В этом случае, скоростная характеристика привода определяется из очевидных равенств:

$$\left. \begin{aligned} \sum Q_i &= A_{эф1} \frac{dX_2}{dt}; \\ P_1 A_{эф1} - P_2 A_{эф2} &= F \text{sign} \frac{dX_2}{dt}; \end{aligned} \right\}$$

где  $Q_i$  - расход жидкости через рабочую щель на золотнике,  $X_2$  - перемещение поршня 6;  $F$  - величина нагрузки на штоке; индекс «i» определяет щели на золотнике, соответственно поступление жидкости в рабочую полость гидроцилиндра.

Анализ расчетных результатов, показывает, что при одинаковых перекрытиях окон ( $\Delta_1 = \Delta_2 = \Delta_3 = \Delta_4 = \Delta$ ) имеет место существенная несимметричность характеристик привода в широком диапазоне нагрузок на штоке цилиндра. В случае, когда перекрытие окон питания на золотнике значительно больше перекрытий окон слива, несимметричность характеристик становится пренебрежимо малой [3]. В реальных следящих гидроприводах такое различие перекрытий часто используют для

уменьшения утечек жидкости в нейтральном положении.

Для оценки применения рассматриваемого гидроцилиндра выполнены расчетные исследования динамических процессов в электрогидравлическом следящем гидроприводе (ЭГСП), содержащий данный цилиндр, двухкаскадный электрогидравлический усилитель мощности (ЭГУ) типа УЭГ.С-40, внешнюю обратную связь по положению поршня.

Исследования выполнены по разработанной нелинейной модели [3] с учетом конструктивных и эксплуатационных факторов, в том числе изменения давления в полости 10 (см. рис.1) вследствие нестационарного движения жидкости в сливном канале (канал 12), а также перетечек жидкости по радиальным зазорам на золотнике.

**Результаты исследований.** На рис. 2 приведены результаты расчетов переходных процессов в приводе при различных знаках входного сигнала  $U$  ( $U$  – напряжение). Здесь  $x_3 = \frac{X_3}{X_{36}}$  и  $\tau = \frac{t}{t_6}$  – безразмерные перемещения поршня и время;  $X_{36}$  и  $t_6$  – базовые величины.

Величина входного сигнала  $U_0 = 0,6U_{0\max}$ , что обуславливает работу привода в существенно нелинейной зоне. Очевидно, что время переходных процессов  $T_{пп}$  в одну и другую сторону движения поршня незначительно отличаются. Это объясняется разными эффективными площадями со стороны рабочих полостей гидроцилиндра, соединенных в данный момент с давлением слива. Отличия в перерегулировании процессов также незначительны. Расчеты переходных процессов проведены при длине и диаметре канала 12  $l_1 = 200$  мм,  $d_{ок} = 8$  мм.

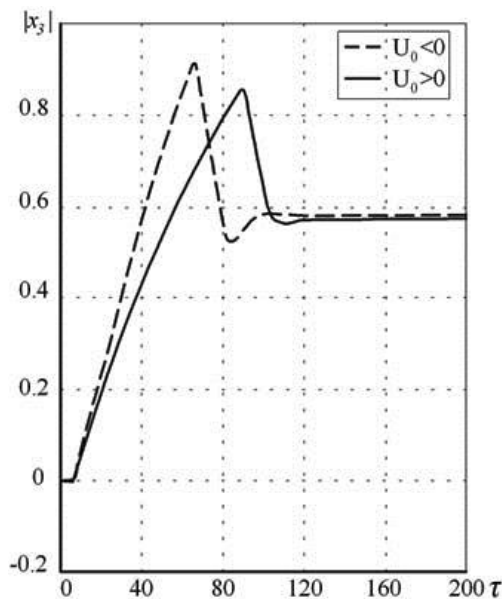


Рис. 2. Переходные процессы в приводе

При таких параметрах давление  $P_3$  (см. рис. 1) практически не влияет на динамику ЭГСП. Также практически не влияют на динамические процессы перетечки жидкости по радиальным зазорам. Но наибольшее влияние оказывают величины положительных перекрытий на золотнике. Минимальные отличия переходных процессов, приведенных на рис. 2, получены при условии, что перекрытия напорных кромок больше перекрытий сливных в два раза.

Необходимо отметить, что варьируя значениями положительных перекрытий возможно добиться практически полной симметричности переходных процессов (см., например, рис. 3).

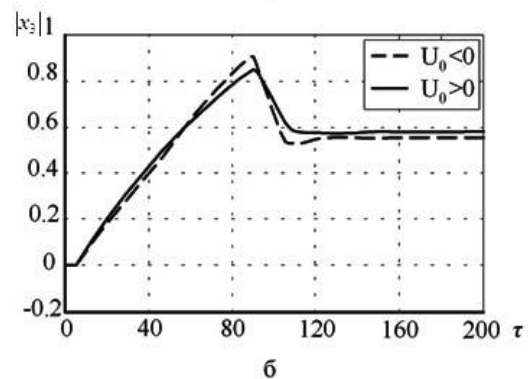
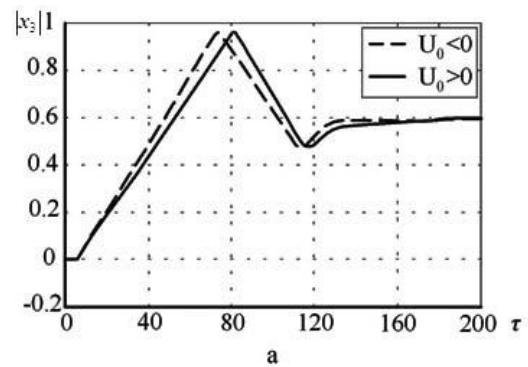


Рис. 3. Переходной процесс в ЭГСП:  
а – без нагрузки; б – с нагрузкой;

$$\delta_{01} = 0,2; \delta_{02} = 0,04; \delta_{0,3} = 0,06; \delta_{04} = 0,25.$$

Здесь  $\delta_i = \frac{\Delta_i}{X_{26}}$  – безразмерные перекрытия на золотнике,  $\Delta_i$  – размерное перекрытие,  $X_{26} = 1$  мм – базовое значение.

Результаты расчетов скоростной характеристики ЭГСП  $\frac{dx_3}{d\tau} = f(\delta^*)$  приведены на рис. 4. Здесь безразмерная величина  $\delta^*$  определяется выражением  $\delta^* = u_0 - u_{oc}$ , где  $u_0$  и  $u_{oc}$  – безразмерные напряжения входного сигнала и сигнала обратной связи.

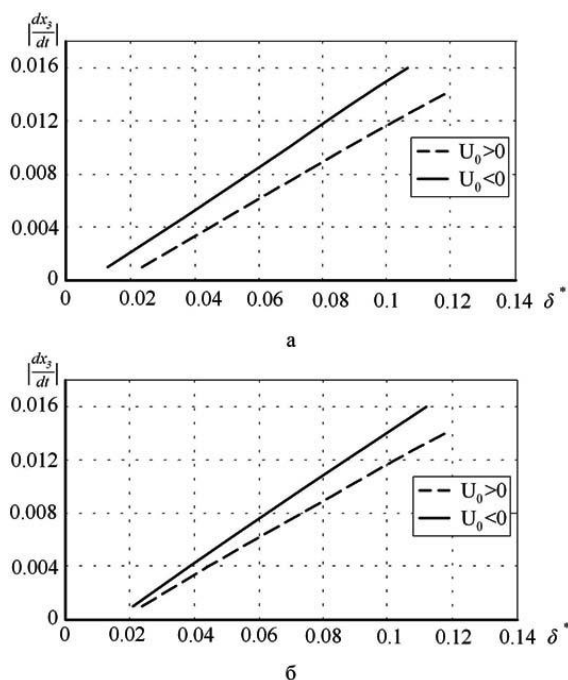


Рис. 4. Скоростная характеристика ЭГСП без нагрузки: а –  $\delta_{01} = \delta_{02} = 0,04$ ;  $\delta_{03} = \delta_{04} = 0,06$ ; б -  $\delta_{01} = \delta_{02} = 0,08$ ;  $\delta_{03} = \delta_{04} = 0,04$

Перекрытия на золотнике ЭГУ (рис. 4,а) соответствуют заводскими значениям. При незначительном изменении перекрытий разность величин рассогласования при одинаковых реверсивных скоростях поршня становится значительно меньше – рис. 4,б. Нагружение ЭГСП позиционной нагрузкой приводит лишь к изменению практически только скоростной характеристики, полученной при  $U_0 > 0$ .

В зоне малых рассогласованной, в которой как правило и работает следящий привод, разность рассогласования остается такой же как и на рис. 6,б.

**Выводы.** По результатам проведенных расчетных исследований установлено, что гидравлический следящий привод, имеющий в своей структуре предлагаемый одноштоковый гидроцилиндр, в рамках заданных геометрических размеров обеспечивает максимальное тяговое усилие на штоке с незначительной несимметричностью скоростных и динамических характеристик, что позволяет рекомендовать его для решения конкретных технических задач. Необходимо отметить, что наиболее значимое влияние на характеристики оказывают величины напорных и сливных перекрытий в золотнике в соотношении 2/1, что реально выдерживается во многих ЭГУ. Увеличение длины сливного канала не нарушает симметричности скоростных и тяговых характеристик привода, а только увеличивает время переходного процесса.

**Л и т е р а т у р а**

1. Цымбалюк В.В., Потаенко Е.Н., Поздеев В.Г. Применение одноштокового гидроцилиндра в

испытательной технике // Проблемы прочности. 1978. № 9. С. 107-110.

2. Скляревский А.Н., Тумаркин М.М., Савченко Ю.В. Некоторые особенности построения электрогидравлических следящих приводов испытательных машин // Вестник машиностроения. 1991. № 3. С. 23-26.

3. Скляревский А.Н. Егоршин В.П. Применение одноштокового гидроцилиндра в гидравлическом следящем приводе при обеспечении симметричности динамических и статических характеристик // Научно-технические ведомости № 4 (207) 2014, С. 223-233.

4. Авторское свидетельство №1268831(СССР). Гидроцилиндр/ Тумаркин М.М., Скляревский А.Н., Мекердичан Л.П. и др. «Бюллетень изобретений»,1986, № 41.

5. Тумаркин М.Б. Гидравлические следящие приводы. – М.:Машиностроение,1966.-296 с.

6. Скляревский А.Н. Гидравлический привод и средства автоматики. Объемный гидропривод: Учеб. пособие. СПб.: Изд-во. Политехн.ун-та, 2012.-252с.

**References**

1. Tsymbalyuk V.V., Potayenko Ye.N., Pozdeyev V.G. Primeneniye odnoshtokovogo gidrotsilindra v ispytatelnoy tekhnike // Problemy prochnosti. 1978. №9. S.107-110. )

2. Sklyarevskiy A.N., Tumarkin M.M., Savzhenko Yu.V. Nekotorie osobennosti postroeniya elektrogidravlicheskiy sledyashih privodov ispytatelnykh mashin // Vestnik mashinostroyeniya. 1991. №3. S.23-26.

3. Sklyarevskiy A.N., Egorshin V.V. Primeneniye odnoshtokovogo gidrotsilindra v gidravlicheskom sledyashem privode pri obespezhenii simmetrizhnosti dinamizheskix harakteristik// Nauzhno-texnizheskie vedomosti № 4 (207) 2014, S.223-233.

4. Avtorskoye svidetelstvo №1268831 (SSSR). Gidrotsilindr / Tumarkin M.M., Sklyarevskiy A.N., Mekerdichan L.P. [i dr]. Byulleten izobreteniy, 1986, №41.

5. Tumarkin M.B. Gidravlicheskiye sledyashiye privody. M.: Mashinostroyeniye,1966.296 s.

6. Sklyarevskiy A.N. Gidravlicheskiye privody i sredstva avtomatiki. Objemniy gidroprivod: Ucheb. Posobiye.SPb.: Izd-vo Politekh.un-ta,2012.252 s.

**Sklyarevskiy A.N.**

**SCORE OF SYMMETRY PULL AND SPEED CHARACTERISTICS OF HYDRAULIC SERVO DRIVE POWER WITH ONE-PISTON CYLINDERS OF DIFFERENT TYPES**

*The article examines the different types of hydraulic cylinder which enables to get symmetry of speed and pull characteristics during reversible work. The study offers a development of nonlinear mathematical model of electro-hydraulic servo power drive, containing this hydraulic cylinder in the structure. Calculation researches of dynamic and static characteristics are conducted at the different signs of entrance signal. The estimation of influence of row of design factors of hydraulic power drive is executed for the similarity of transients in it and the symmetry of speed characteristics during reversible work. The study shows that at a certain correlation of the positive ceilings of pressure and return choke cracks of slide-valve of electro-hydraulic power-amplifier, the identity of dynamic and speed characteristics of hydraulic servo power drive is provided with acceptable preciseness.*

**Key words:** *hydraulic cylinder, speed characteristics, dynamic, simulation, calculation, servo power drive, reversible work.*

**Скляревский Александр Николаевич**, д.т.н., профессор кафедры «Турбины, гидромашин и авиационные двигатели» СПбПУ Петра Великого, г. Санкт-Петербург.

**Sklyarevskiy Aleksandr Nikolaevich**, d.t.s., professor of the Chair «Turbines, hydraulic machines and aviation engines» SPbPU Petra Velikogo, t. Sankt-Peterburg.

**Рецензент: Жарковский Александр Аркадьевич**, д.т.н., профессор каф. «Турбины, гидромашин и авиационные двигатели» » СПбПУ Петра Великого, г. Санкт-Петербург.

*Статья подана 30.11.2017*



УДК: 681.515:681.527.3

## УЛУЧШЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СЕРВОКЛАПАНОВ В УСЛОВИЯХ ОГРАНИЧЕНИЯ УПРАВЛЯЮЩЕГО СИГНАЛА

Ткачев Р.Ю., Бойко Н.З., Тумин А.Н.

## IMPROVEMENT OF DYNAMIC CHARACTERISTICS OF SERVO-VALVES UNDER CONDITIONS OF CONTROLLING SIGNAL LIMITATION

Tkachev R.Yu., Boyko N.Z., Tumin A.N.

*Проанализированы алгоритмические и структурные режимы регулятора интегрированного в сервоусилитель, которые учитывают ограничения в системах регулирования положением сервоклапана. Показан способ противонакопления для исключения интегрального насыщения выхода регулятора сервоклапана и улучшения надежности его работы и динамических характеристик. Преимуществом использования разработанного алгоритма неявного интегрирования для компенсации интегрального насыщения является простота реализации в виде схемотехнического решения на базе интегрирующего фильтра.*

**Ключевые слова:** сервоклапан, ограничение, интегральное насыщение, ПИ-регулятор, система с неявным интегрированием.

**Введение.** В современных электрогидравлических следящих системах используют гидравлические усилители мощности (сервоусилители). Применение этих сервоусилителей значительно упрощает электромеханическую систему управления, увеличивает ее быстродействие и надежность, уменьшает габариты. Но вместе с этим гидроприводы, традиционно называемые следящими, сложно назвать автоматизированными, с современной точки зрения, так как в них обратная связь реализуется не в соответствии с законом управления, сформулированным разработчиком, а в силу конструктивного строения, поскольку поток жидкости механически перекрывается при достижении системой определенного положения.

Одна из причин малой распространенности систем автоматического управления гидроприводами - существенная нелинейность протекающих в них процессов, что обуславливает высокую сложность построения точных моделей [1], и, следовательно, синтеза законов управления. И это же определяет высокий потенциал развития систем управления гидроприводом и актуальность исследований в этой области.

Синтез системы управления гидравлическим следящим приводом в большинстве случаев проводят по линеаризованной модели гидропривода, что дает большие запасы устойчивости. А как известно из теории управления, повышенный запас устойчивости приводит к снижению статической точности гидропривода, поэтому необходимо вводить в имеющиеся методы некоторые поправки, приближающие теоретические пределы устойчивости к наблюдаемой на практике [2]. Это уточнение методов расчета должно идти по пути максимального учета нелинейностей, которыми ранее пренебрегали. К числу наиболее существенных нелинейностей, пренебрежение которыми вызывает неоправданно большие запасы устойчивости, относятся, прежде всего, сухое трение и «насыщение» привода по расходу [1,2]. Так производители гидравлического оборудования фирмы BoschRexroth в паспортах своих сервоклапанов 4SW2E.10A указывают на наличие «насыщения» по расходу на уровне 80% от входного сигнала (рис. 1), что существенно снижает расходные и скоростные характеристики привода.

Ограничение математически можно описать как статическую нелинейность. Математически нелинейный элемент типа насыщение может быть представлен системой уравнений:

$$u(t) = \text{sat} \langle \hat{u}(t) \rangle \triangleq \begin{cases} u_{\min}, & \text{при } \hat{u} < u_{\min}; \\ \hat{u}, & \text{при } u_{\min} \leq \hat{u} \leq u_{\max}; \\ u_{\max}, & \text{при } \hat{u} > u_{\max}, \end{cases} \quad (1)$$

где  $u(t)$  - ограниченный вход объекта;  $\hat{u}(t)$  - неограниченный выход регулятора.

Эффект интегрального насыщения выражается в том, что если сигнал на входе объекта управления

$u(t)$  входит в зону насыщения, а сигнал рассогласования  $\varepsilon(t) \neq 0$ , то интегратор продолжает накапливать значение своего выходного сигнала, однако этот сигнал не участвует в процессе регулирования и не воздействует на объект, поскольку ограничен его вход. Система управления в этом случае ведет себя аналогично разомкнутой системе, сигнал на входе которой равен уровню насыщения управляющего сигнала [4].

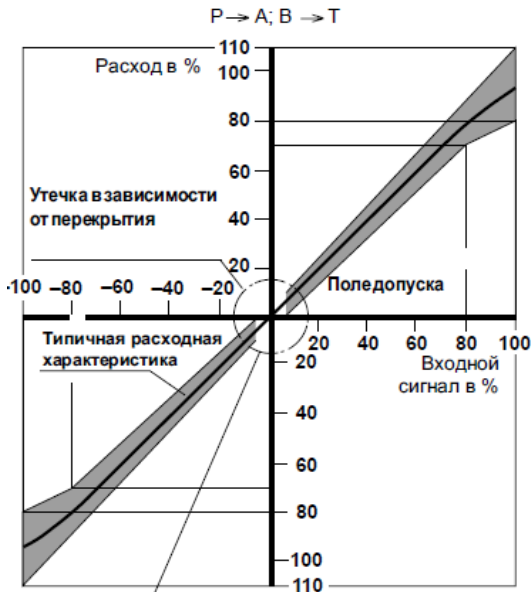


Рис. 1. График статической характеристики 4WSE2

Кроме этих ограничений системы регулирования также ограничиваются минимальными перемещениями исполнительного механизма. Минимальные перемещения исполнительного механизма часто связываются с эффектами трения, когда исполнительный элемент (золотник) – заливает. Если исполнительный механизм находится в таком состоянии, интегральные составляющие (и у объекта, и у регулятора) будут накапливать выходную величину, пока не сформируется достаточное усилие, чтобы преодолеть статическое трение. Обычно проявляется эта проблема – с возникновением автоколебаний, так например, исполнительный элемент – золотник проходит цикл: залипания, перемещения, залипания и т. д. Частота колебаний обычно на/или около частоты, где фазовый сдвиг контура равен  $180^\circ$ .

В настоящее время наиболее известны два варианта решения данной проблемы:

- уменьшение нагрузки объекта так, чтобы при регулировании нелинейностей регулятор не выходил за эти ограничения, т.е. находился в линейной зоне регулирования;

- изменение структуры системы управления в соответствии с этими ограничениями.

Первый вариант естественно является простым решением, однако главным его недостатком является уменьшение производительности технологического агрегата, снижение быстродействия системы, а также невозможность устранить интегральное насыщение, вызванное внешними возмущениями, а не сигналом задания.

Второй – является более перспективным, поскольку производительность агрегата остаётся высокой, при значительно улучшенном качестве регулирования, а для его реализации не требуется существенных изменений структуры даже работающих систем. Кроме того, с появлением микропроцессоров проблему изменения структуры удастся решить гораздо эффективнее.

Повышение точности и качество работы систем управления сервоклапанами с учетом нелинейности типа «насыщение» привода по расходу, является повышением эффективности электрогидравлических сервоусилителей с помощью алгоритмов учитывающие нелинейности сервоклапана типа «насыщение».

Отметим, что методы устранения интегрального насыщения являются предметом изобретений, относятся к коммерческой тайне фирм-производителей и защищаются патентами [4-6].

**Изложение основных материалов и результаты исследований.** Рассмотрим контур обратной связи в цепи регулятора, показанного на рис. 2. Здесь регулятор имеет эквивалентную передаточную функцию  $W_r(p)$ , которую мы представили в виде двух звеньев коэффициента усиления в прямом канале  $k_r$  и строго собственной передаточной функцией  $W_{oc}(p) = [W_r(p)]^{-1}$  при выполняющемся равенстве

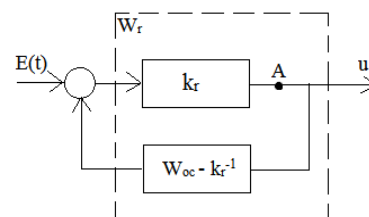


Рис. 2. Схема структуры регулятора в форме обратной связи

$$W_r(p) = k_r + W_{oc}(p). \quad (2)$$

Путем несложных расчетов можно убедиться, что передаточная функция от  $e(t)$  к  $u(t)$  регулятора, изображенного на рисунке 2, равна

$$\frac{u(p)}{e(p)} = \frac{k_r}{1 + (W_{oc} - k_r^{-1})k_r} = \frac{k_r}{[W_r]^{-1}k_r} = W_r(p) \quad (3)$$

Поскольку выход регулятора ограничен, необходимо обеспечить правильное отношение между желаемым и фактическим входом. Для этого разместим соответствующий блок ограничения в точке А на рис. 2. Тогда окончательная структурная схема с учетом ограничения по амплитуде и скорости нарастания будет представлена как на рис. 4.

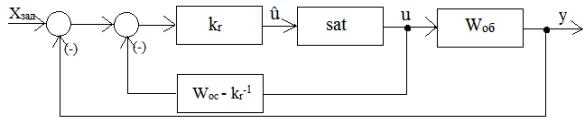


Рис. 3. Структурная схема системы управления с противонакоплением

Рассмотрим более детально разработанную структуру регулятора с противонакоплением. Но перед рассмотрением зададимся вопросом: какие необходимо обеспечить условия для уставки задания  $\bar{x}_{\text{cдд}}$ , чтобы в первую очередь избежать попадания входного сигнала  $\hat{u}$  на границы насыщения?

В первую очередь мы исходили из того, что стратегия противонакопления эквивалентна созданию таких условий, чтобы всегда выполнялось условие  $u(t) = \hat{u}(t)$ . Рассмотрим вновь регулятор, имеющий вход  $e(t)$  и выход  $u(t)$ . Будем полагать, что передаточная функция регулятора  $W_r(p)$  бисобственная и следовательно может быть расщеплена на строго собственную передаточную функцию и на усилительный элемент, т.е.

$$W_r(p) = k_r + W_{oc}(p), \tag{4}$$

где  $W_{oc}(p)$ - строго собственная передаточная функция, а  $k_r \neq 0$  коэффициент усиления на высоких частотах.

Предположим, что нужно избежать насыщения, т.е. заменить  $e(t)$  на  $\hat{e}(t)$ . В этом случае нам необходимо выбрать  $\hat{e}(t)$  так, чтобы выполнялось условие

$$\begin{aligned} W_r \cdot \langle \hat{e} \rangle &= u_{\text{sat}} = \text{sat} (W_{oc} \cdot \langle \hat{e} \rangle + k_r e) = \\ &= W_{oc} \cdot \langle \hat{e} \rangle + k_r \hat{e} \end{aligned}$$

Тогда  $\hat{e}$  необходимо выбирать таким:

$$\hat{e} = k_r^{-1} \cdot \text{sat} (W_{oc} \cdot \langle \hat{e} \rangle + k_r e) - W_{oc} \cdot \hat{e}, \tag{6}$$

что соответствует структурной схеме регулятора, приведенной на рис. 4.

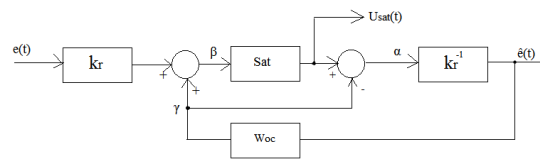


Рис. 4. Эквивалентная структурная схема регулятора противонакопления

Можно сказать, что данная структура регулятора эквивалентна структуре регулятора на рис.3. Отметим, что выход звена обратной связи  $W_{oc}(p)$

$$\gamma(t) = k_r^{-1} \cdot W_{oc} (u_{\text{sat}} - \gamma) \Leftrightarrow k_r \gamma(t) = W_{oc} u_{\text{sat}} (t).$$

Отсюда, используя подстановку (1), получим

$$\gamma(t) = -k_r (W_{oc}^{-1} - k_r^{-1}) u_{\text{sat}} (t). \tag{7}$$

Аналогично

$$\begin{aligned} \beta(t) &= k_r e(t) + \gamma(t) = \\ &= k_r [e(t) - (W_{oc}^{-1} - k_r^{-1})] u_{\text{sat}} (t) \end{aligned} \tag{8}$$

$$u_{\text{sat}} = \text{sat} (\beta(t)) \tag{9}$$

Подставляя (6) в (7) окончательно получим

$$u_{\text{sat}} (t) = \text{sat} \left( k_r [e(t) - (W_{oc}^{-1} - k_r^{-1}) \cdot \langle u_{\text{sat}} (t) \rangle] \right), \tag{10}$$

следовательно, схема представляет тот же регулятор, что и на рис.2, т.е. они эквивалентны.

Так, если в качестве алгоритма управления сервоклапаном выбрать ПИ-алгоритм

$$W_r(p) = k_r \frac{T_i p + 1}{T_i p}, \tag{11}$$

где  $T_i$  – время изодрома; то очевидно, что наличие интегратора в законе регулирования приведет к появлению эффекта интегрального «насыщения».

(5) Для исключения нелинейности типа «насыщение» изготовители, в частности фирма BoschRexroth, исключают интегральную составляющую из закона управления сервоклапаном, используя только пропорционально-дифференциальный закон управления, что видно из схемы блока управления приведенном на рис. 5 [3]. Исключение интегральной составляющей из алгоритма управления приводит к возникновению статической ошибки во внутреннем контуре регулирования сервоклапаном и как следствие снижению точности управления всей гидросистемы в целом.

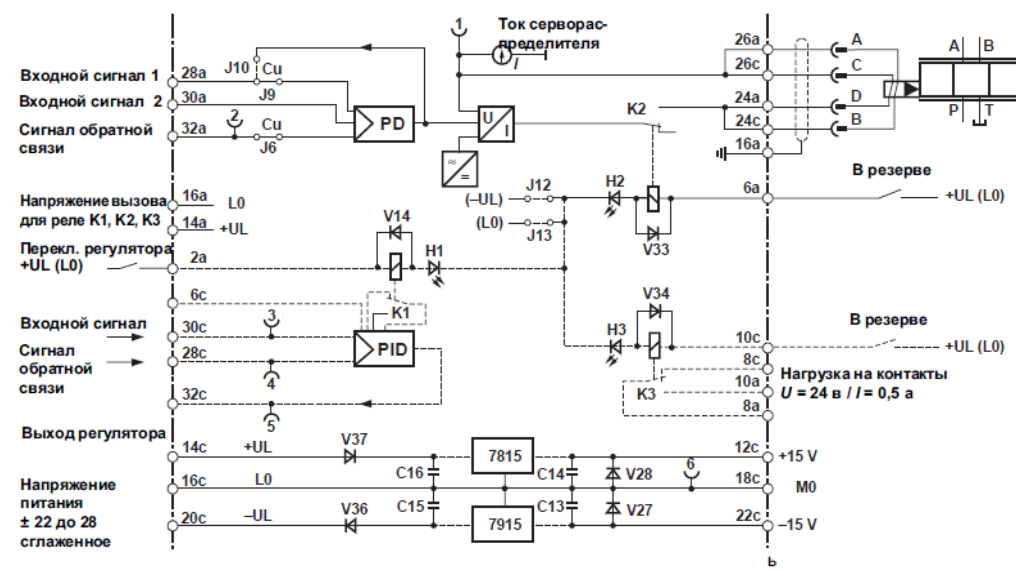


Рис. 5. Схема электронного блока управления сервоклапаном 4SW2EM

Поскольку передаточная функция (11) является бисобственной, то ее можно представить в виде суммы (2), тогда на основании (3) передаточная функция звена обратной связи будет

$$W_{oc} = \frac{T_i p}{T_i p + 1}. \quad (12)$$

При этом преобразованный регулятор будет «содержать» интегральную составляющую в неявном виде, что позволяет исключить возникновение статической ошибки во внутреннем контуре регулирования сервоклапаном. Звено обратной связи (12) можно реализовать на базе интегрирующих фильтров [7] в виде схемного решения либо программы в блоке электронного управления сервоклапана.

**Выводы.** Введение учета ограничений в закон управления может значительно улучшить функционирование системы управления сервоклапаном и повысить ее надежность. Преимуществом использования алгоритма неявного интегрирования и компенсации интегрального насыщения является простота реализации, как на существующих системах регулирования, так и на этапе их проектирования. Поскольку данный способ сформулирован как в виде структурных схем, так и в алгоритмическом виде, то их можно достаточно легко реализовать в интегрированных блоках управления сервоприводами.

#### Литература

1. С. В. Арановский, Л. Б. Фрейдович, Л. В. Никиорова, А. А. Лосенков // Моделирование и идентификация динамики золотникового распределителя. Часть I. Моделирование // Изв. ВУЗов. Приборостроение. 2013. Т. 56, № 4.

2. Гамынин Н.С. и др. Гидравлический следящий привод. Под ред. В.А. Лешенко. –М.: Машиностроение, 1968, 564с.

3. Сервораспределитель 4WS.2E. 10 Bosch Rexroth электронный ресурс. Режим доступа: <https://global-rf.ru/catalog/servoraspredeliteli/servoraspredeliteli-4-hodovoe-ispolnenie-4ws-e-2e-10>.

4. А.с. 802915 СССР, М.Кл.<sup>3</sup> G05 В 5/00. Способ компенсации насыщения [Текст] / А.Д. Горбачёв, В.М. Фишман (СССР). - № 2490381/18-24, заявл.01.06.77, опубл.07.02.81, Бюл. № 5. – 3 с.

5. А.с. 977079 СССР, М.Кл.<sup>3</sup> В 21 В 37/00. Узел слежения и ограничения пути механизма в автоматической системе управления линейками манипуляторов блюминга [Текст] / Л.М. Балабуев, Ю.П.Осипов, Р.Р.Арутюнова (СССР). - №3309824/22-02, заявл.30.06.81, опубл. 30.11.82, Бюл. №44. – 4 с.

6. Seron M.M., Graebe S.F., and Goodwin G.C. All stabilizing controllers, feedback linearization and anti-wind-up: a unified review. In *Proceedings of the 1994 American Control Conference*, Baltimore, Maryland -1994. P.1685-1689.

7. Дрючин В.Г. Синтез регуляторов на базе интегрирующих фильтров систем управления объектами с запаздыванием в координатах состояния и управления/ В.Г. Дрючин, Р.Ю. Ткачев // Сборник научных трудов ДонГТУ. –Алчевск: ДонГТУ, 2007. –№24. –С.391-396.

#### References

1. S. V. Aranovskij, L. B. Frejdovich, L. V. Nikiorova, A. A. Losenkov // *Modelirovanie i identifikacija dinamiki zolotnikovogo raspredelitelja. Chast' I. Modelirovanie* // Izv. VUZov. Priborostroenie. 2013. T. 56, № 4.

2. Gamynin N.S. i dr. *Gidravlicheskiy sledja-shhij privod*. Pod red. V.A. Leshhenko. –M.: Mashinostroe-nie, 1968, 564s.

3. *Servoraspredelitel' 4WS.2E. 10 Bosch Rexroth jelektronnyj resurs*. Rezhim dostupa: <https://global-rf.ru/catalog/servoraspredeliteli/servoraspredeliteli-4-hodovoe-ispolnenie-4ws-e-2e-10>.

4. A.s. 802915 SSSR, M.Kl.<sup>3</sup> G05 В 5/00. *Spo-sob kompensacii nasyshhenija* [Tekst] / A.D. Gorbachjov, V.M. Fishman (SSSR). - № 2490381/18-24, zajavl.01.06.77, opubl.07.02.81, Bjul. № 5. – 3 s.

5. A.s. 977079 SSSR, M.K1.3 V 21 B 37/00. Uzel slezhenija i ogranichenija puti mehanizma v avtomati-cheskoj sisteme upravljenija linejkami manipuljatorov bljuminga [Tekst] / L.M. Balabuev, Ju.P.Osipov, R.R.Arutjunova (SSSR). - №3309824/22-02, zajavl.30.06.81, opubl. 30.11.82, Bjul. №44. – 4 s.

6. Seron M.M., Graebe S.F., and Goodwin G.C. All stabilizing controllers, feedback linearization and anti-wind-up: a unified review. In Processings of the 1994 American Control Conference, Baltimor, Maryland -1994. P.1685-1689.

7. Drjuchin V.G. Sintez reguljatorov na baze integrirujushhij fil'trov sistem upravljenija ob'ektami s zapazdyvanijem v koordinatah sostojanija i upravljenija/ V.G. Drjuchin, R.Ju. Tkachev // Sbornik nauchnyh trudov DonGTU. –Alchevsk: DonGTU, 2007. –№24. –S.391-396.

**Tkachev R.Yu., Boyko N.Z., Tumin A.N.**  
**IMPROVEMENT OF DYNAMIC CHARACTERISTICS OF SERVO-VALVES UNDER CONDITIONS OF CONTROLLING SIGNAL LIMITATION**

*The algorithmic and structural regimes of the controller integrated into the servo amplifier are analyzed, which take into account the limitations in the control systems by the position of the servovalve. The method of anti-accumulation is shown to exclude the integral saturation of the output of the regulator of the servo valve and to improve the reliability of its operation and dynamic characteristics. The advantage of using the developed algorithm of implicit integration to compensate for integral saturation is the ease of implementation in the form of a circuit-technical solution based on an integrating filter.*

**Key words:** servo valve, limitation, integral saturation, PI controller, system with implicit integration.

**Ткачев Роман Юрьевич**, к.т.н. доцент кафедры «Автоматического управления технологическими процессами» ГОУ ВПО ЛНР «Донбасский государственный технический университет», г. Алчевск.

**E-mail:** tirpitz@ukr.net

**Tkachev Roman Yuryevich**, Ph.D. Assistant Professor of the Department of "Automatic Control of Technological Processes" of GOU VPO LNR "Donbass State Technical University", Alchevsk.

**E-mail:** tirpitz@ukr.net

**Бойко Николай Зельманович**, к.т.н. доцент кафедры «Автоматического управления технологическими процессами» ГОУ ВПО ЛНР «Донбасский государственный технический университет», г. Алчевск.

**E-mail:** boartfzl@mail.ru

**Boyko Nikolay Zelmanovich**, Ph.D. Associate Professor of the Department of "Automatic Control of Technological Processes" of GOU VPO LNR "Donbass State Technical University", Alchevsk.

**E-mail:** boartfzl@mail.ru

**Тумин Александр Николаевич**, ассистент кафедры «Прикладной гидромеханики» ГОУ ВПО ЛНР «Донбасский государственный технический университет», г. Алчевск.

**E-mail:** a\_tumin@mail.ru

**Tumin Alexander Nikolaevich**, Assistant of the Department "Applied Hydromechanics", GOU VPO LNR "Donbass State Technical University", Alchevsk.

**E-mail:** a\_tumin@mail.ru

**Рецензент: Харламов Юрий Александрович**, доктор технических наук, профессор кафедры «Металлургического комплекса» ГОУ ВПО ЛНР «Донбасский государственный технический университет».

*Статья подана 27.11.2017*

УДК: 62-522:681.51

## РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ГИДРОПРИВОДОМ ЩЕКОВОЙ ДРОБИЛКИ

Тумин А.Н., Ткачев Р.Ю., Левченко Э.П.

## DEVELOPMENT OF A CONTROL SYSTEM OF HYDRAULIC JAW CRUSHER

Tumin A.N., Tkachev R.Yu., Levchenko E.P.

*Рассмотрен подход повышения энергоэффективности щековых дробилок с гидравлическим приводом. Проанализирована математическая модель работы гидропривода щековой дробилки. Предложена электрогидравлическая система импульсного управления гидроприводом щековой дробилки, показано, что оптимизация работы гидропривода в импульсном режиме может быть достигнута правильным подбором параметров генератора импульсных сигналов, а именно длительностью импульса и периодом. Показано что существенный выигрыш в экономии электроэнергии, габаритов системы и ее стоимости можно получить за счет снижения удельного объема насоса, а, следовательно, и его мощности, что достигается увеличением периода следования импульсов при неизменной их длительности.*

**Ключевые слова:** щековая дробилка, гидроаккумулятор, гидропривод, импульсное управление.

**Введение.** Повышение технического уровня дробильного оборудования в первую очередь связано с совершенствованием характеристик и расширением функциональных возможностей гидропривода.

Одним из первых этапов при производстве строительных материалов, является процесс дробления. Рассматривая пути повышения эффективности процессов измельчения и снижения их энергоемкости с учетом отечественного и зарубежного опыта, следует обратить внимание на энергоэффективность процесса дробления так и возможность его автоматизации.

Щековые дробилки, благодаря их способности перерабатывать куски горных пород и других твердых хрупких материалов различной крупности, прочности и абразивности, получили широкое распространение в таких отраслях промышленности, как горная, химическая, строительная и металлургическая [1-3].

В последнее время для щековых дробилок начато применение гидравлического привода,

обеспечивающего предохранение механизма дробилки при попадании не дробимого тела, запуск под завалом и возможность автоматического изменения хода подвижной щеки и величины разгрузочной щели.

**Целью настоящей работы** разработка гидравлической схемы механической щековой дробилки и ее системы управления для повышения надежности работы машины и эффективности диспергирования материала. Что позволит организовать механизм разрушения материалов в щековой дробилке с разнообразным необходимым, в каждом конкретном случае, регулированием этапов движения щеки по циклам.

**Результаты исследований.** Известно, что в щековой дробилке число рабочих ходов подвижной щеки в минуту принято определять временем, необходимым для разгрузки камеры дробления. При обычном механическом приводе с помощью кривошипного механизма продолжительность хода сжатия и холостого хода одинакова, и потому частота вращения эксцентрикового вала представляет собой для данного типоразмера дробилки вполне определенную конструктивно ограниченную величину.

Попытки сократить время цикла путем увеличения частоты вращения вала выше определенного предела для дробилок обычных конструкций не приводят к повышению производительности. Вместе с тем эксперименты показали, что, сокращая общий период цикла путем уменьшения времени хода сжатия, но с сохранением длительности разгрузки, можно увеличить число качаний подвижной щеки в единицу времени и тем самым повысить производительность дробилки [3].

Принципиальная электрогидравлическая схема, реализующая разомкнутый принцип регулирования приведен на рисунке 1.

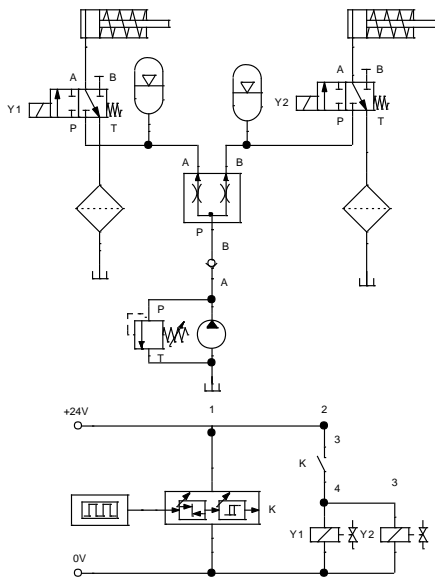


Рис. 1. Принципиальная электрогидравлическая схема управления щековой дробилкой

Поскольку выходное звено разрабатываемого гидропривода должно совершать импульсные движения то в качестве задающего генератора будет использован генератор импульсных сигналов. Его выходной электрический сигнал поступает на вход электромагнитного соленоида, где преобразуется в пропорциональное механическое перемещение регулирующего органа (золотника) [4-6].

На рисунке 1 внизу показана электрическая цепь, состоящая из генератора прямоугольных импульсных сигналов заданной длительности и периода, электромагнитного реле с гистерезисом (К) с нормально разомкнутым контактом для включения двух электромеханических соленоидов (Y1 и Y2) для дискретного управления двумя соответствующими 3/2-х позиционными распределителями.

В этой гидравлической системе, размеры насоса и частота вращения приводного двигателя определяют скорость подачи и, следовательно, мощность двигателя. На рисунке 2 показан график подачи насоса, работающего в импульсном режиме, который обеспечивается за счет гидрораспределителей, управляемых с помощью генератора прямоугольных сигналов. В системе обеспечивается давление 29 до 32 МПа, для приведения гидроцилиндров в движение система нуждается в подаче рабочей жидкости 2,26 л/с в течение 3с с частотой 0,16Гц, что соответствует общему объему жидкости в 6.8 л, необходимой для выдвигания поршней гидроцилиндров на 42мм. Расчетная мощность насоса составляет 52 кВт.

В момент времени, равный длительности импульса  $t_{и}$  (момент включения гидрораспределителей), когда происходит подключение гидросети к гидроцилиндрам для выдвигания их штоков. Движение осуществляется

за счет жидкости подаваемой одновременно насосом и гидроаккумулятором. Насос, приводимый в действие электродвигателем в 90 кВт, при этом он тратит около 50% своего времени на зарядку аккумулятора. Зарядка аккумулятора происходит во время паузы, т.е. когда момент времени, когда гидрораспределитель выключен  $t_{п} = T_{п} - t_{и} = 6 - 3 = 3$  с.

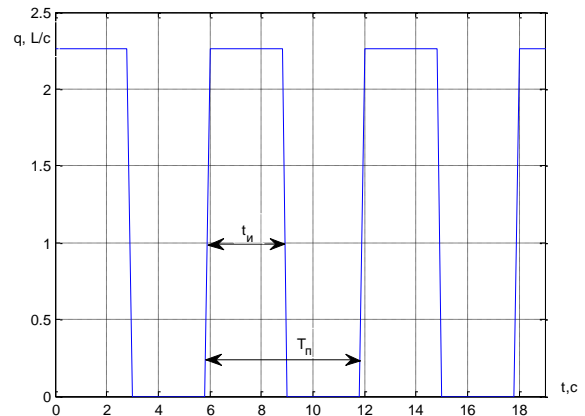


Рис. 2. График импульсной подачи рабочей жидкости к гидроцилиндрам при импульсном управлении гидрораспределителями с частотой 0,16Гц

Тогда изменяя параметры генератора прямоугольных импульсных сигналов, а именно длительности импульса  $t_{и}$  и периода  $T_{п}$ , можно существенно уменьшить потребляемую мощность привода.

Так, в качестве примера на рисунке 3 график импульсной подачи рабочей жидкости к гидроцилиндрам при импульсном управлении гидрораспределителями с частотой 0,1Гц, что соответствует периоду следования импульсов  $T_{п} = 10$ с. При той же самой длительности импульса  $t_{и} = 3$ с время длительности паузы увеличится по сравнению с предыдущим примером до  $t_{п} = T_{п} - t_{и} = 10 - 3 = 7$  с.

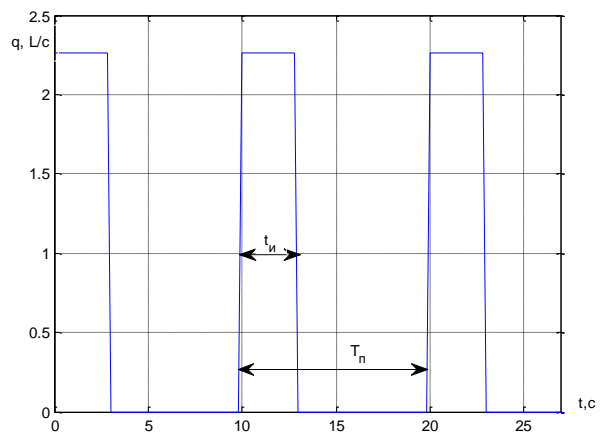


Рис. 3. График импульсной подачи рабочей жидкости к гидроцилиндрам при импульсном управлении гидрораспределителями с частотой 0,1Гц

Поскольку за время паузы необходимо дозарядить гидроаккумулятор на 6.8л, а для этого будет уже достаточно насоса производительностью 1,13 л/с и мощностью 44 кВт. Разница мощностей составляет 8 кВт при разнице периодов 4с. Таким образом, увеличивая период следования импульсов можно получить существенный выигрыш в экономии электроэнергии, габаритов и стоимости гидросистемы.

Для более качественной оценки работы разработанной системы управления гидроприводом щековой дробилки проведем анализ ее работы при различных параметрах генератора импульсных сигналов управления.

Для анализа работы системы была разработана математическая модель гидропривода щековой дробилки с учетом принятых допущений и рассчитанных параметров, соответствующее уравнению

$$\frac{dy}{dt} = k_v \sqrt{1 - \frac{m}{p_0 F_n} \frac{d^2 y}{dt^2}} \operatorname{sgn}(x) x \quad (1)$$

которое имеет решение только при ступенчатом смещении золотника на заданную величину  $x$ . Приведенная модель системы, соответствует гидроприводу находящемуся под инерционной нагрузкой при сжатии щеки, т.е. в момент включения гидрораспределителя, а в момент отключения движется в обратном направлении и оказывает сопротивление силам тяжести трения и силе создаваемой пружиной разгрузки щеки

$$\frac{dy}{dt} = k_v \sqrt{1 - \frac{|P_{mp}|}{p_0 F_n}} x, \quad (2)$$

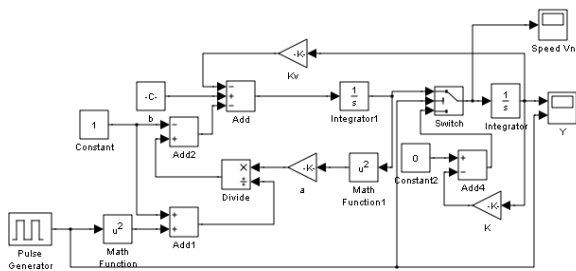


Рис. 4. Имитационная модель гидропривода щековой дробилки

Графики импульсных процессов по перемещению щеки и ее скорости перемещения при различных параметрах генератора импульсов, проходящих в разработанной гидросистеме, показаны на рисунках 5-6. Здесь на рисунках 5-6 показаны графики изменения а) состояния распределителя (включен/выключен); б) перемещения щеки и в) скорости перемещения щеки.

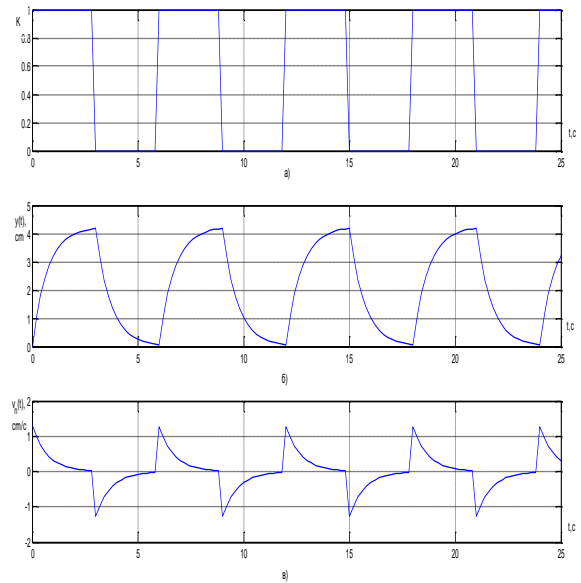


Рис. 5. Графики изменения параметров гидропривода при частоте импульсов 0,16Гц и  $t_{и}=0,5T_{п}$

На рисунке 5 показаны графики изменения параметров гидропривода при частоте 0,16Гц, т.е. период импульсов составляет  $T_{п}=6с$  и времени длительности импульса  $t_{и}=0,5T_{п}=3с$ . Как видно из приведенных графиков выдвигание штоков на заданное расстояние (42мм) происходит за расчетное время 3с с заданной скоростью (13мм/с).

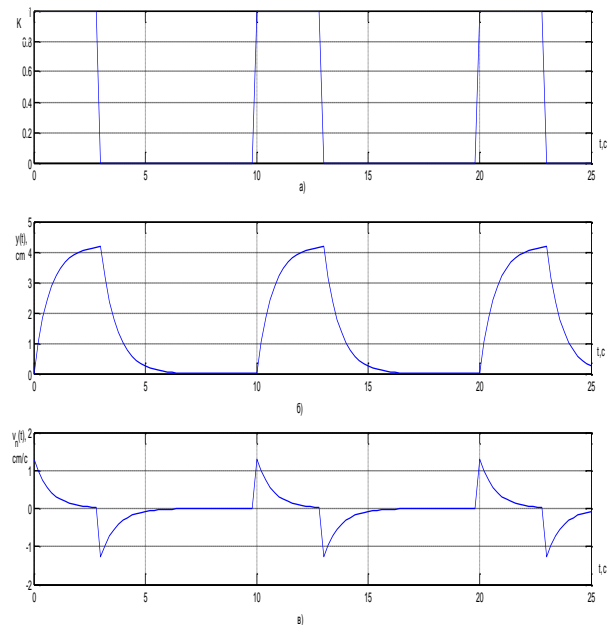


Рис. 6. Графики изменения параметров гидропривода при частоте импульсов 0,1Гц и  $t_{и}=0,3T_{п}$

На рисунке 6 показаны графики изменения параметров гидропривода при частоте 0,1Гц, т.е. период импульсов составляет  $T_{п}=10с$  и времени длительности импульса  $t_{и}=0,3T_{п}=3с$ . Выдвигание штоков на заданное расстояние (42мм) также происходит за расчетное время 3с с заданной



скоростью (13мм/с). Кроме того из графиков видно, что увеличено время паузы на 4с, по сравнению характеристиками с показанными рис.5, а следовательно, как указывалось выше, есть возможность получить существенный выигрыш в экономии электроэнергии и габаритов и стоимости гидросистемы.

**Выводы.** 1. В связи с тем, что модернизация щековых дробилок, путем замены механического привода на гидравлический, осуществляется, в подавляющем большинстве случаев, уже на имеющихся конструкциях без существенного их изменения, то достигается высокая экономическая эффективность таких работ.

2. Предложена простая электрогидравлическая система управления гидроприводом щековой дробилки, работающая по принципу разомкнутых систем; она проста в реализации и состоит из простых элементов.

3. Оптимизация работы гидропривода в импульсном режиме может быть достигнута правильным подбором параметров генератора импульсных сигналов, а именно длительностью импульса и периодом.

4. Увеличивая период следования импульсов при неизменной длительности импульсов можно получить существенный выигрыш в экономии электроэнергии и габаритов и стоимости гидросистемы за счет снижения удельного объема насоса, а, следовательно, и его мощности.

#### Л и т е р а т у р а

1. Онищенко Н. Э. Возможности использования гидропривода в щековой дробилке / Н. Э. Онищенко, Э. П. Левченко, А. Н. Тумин // Материалы международной научно - технической конференции Дон ГТУ «Пути совершенствования технологических процессов и оборудования промышленного производства», Алчевск, октябрь 2016, С. 25 - 26.

2. Потёмкин С.А. Совершенствование методов расчета и обоснование рациональных параметров щековых дробилок. Дис. канд. техн. Наук. – Москва, 2000.

3. Нестеров А.П. Исследование дробления щековыми дробилками с гидроприводом / А.П. Нестеров, С.Н. Зиновьев, Л.В. Евсюкова // Механика жидкости и газа / Материалы IX Международной научно-технической студенческой конференции. - Донецк: ДонНТУ, 2010.- [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://masters.donntu.org/2014/fimm/simonenko/library/article1.htm>

4. Большаков В.И., Листопадов И.Б. Особенности динамических процесс при пуске гидромеханизмов дискретного действия. //Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии. - Вып.4. - К.: Наукова думка, 2001. -С-306-311.

5. Большаков В.И., Листопадов И.Б. Исследование реакции дискретно управляемых гидросистем на возмущение //Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии. - Вып.3. - К.: Наукова думка, 2003. – С.279-288.

6. Бесекинский В.А. Теория систем автоматического управления // В.А. Бесекинский, Е.П. Попов. – СПб,2003. – 752 с.

#### References

1. Onishhenko N. Je. Vozmozhnosti ispol'zovaniya gidroprivoda v shhekovoj drobilke / N. Je Onishhenko, E. P. Levchenko, A. N. Tumin // Materialy mezhdunarodnoj nauchno - tehnichekoj konferencii Don GTU «Puti sovershenstvovaniya tehnologicheskikh processov i oborudovaniya promyshlennogo proizvodstva», Alchevsk, oktjabr' 2016, S. 25 - 26.

2. Potjomkin S.A. Sovershenstvovanie metodov rascheta i obosnovanie racional'nyh parametrov shhekovyh drobilok. Dis. kand. tehn. Nauk. – Moskva, 2000.

3. Nesterov A.P. Issledovanie drobleniya shhekovymi drobilkami s gidroprivodom / A.P. Nesterov, S.N. Zinov'ev, L.V. Evsjukova // Mehanika zhidkosti i gaza / Materialy IX Mezhdunarodnoj nauchno-tehnichekoj studencheskoj konferencii. - Doneck: DonNTU, 2010.- [Jelektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa:

<http://masters.donntu.org/2014/fimm/simonenko/library/article1.htm>

4. Bol'shakov V.I., Listopadov I.B. Osobennosti dinamiceskikh process pri puske gidromehanizmov diskretnogo dejstvija. //Fundamental'nye i prikladnye problemy chernoj metallurgii. - Вып.4. - К.: Naukova dumka, 2001. -S-306-311.

5. Bol'shakov V.I., Listopadov I.B. Issledovanie reakcii diskretno upravljajemyh gidrosistem na vozmushhenie //Fundamental'nye i prikladnye problemy chernoj metallurgii. - Вып.3. - К.: Naukova dumka, 2003. – С.279-288.

6. Besekerskij V.A. Teorija sistem avtomaticheskogo upravlenija // V.A. Besekerskij, E.P.Popov. – SPb,2003. – 752 s.

#### **Tumin, A. N., Tkachev R. Yu., Levchenko E. P. DEVELOPMENT OF A CONTROL SYSTEM OF HYDRAULIC JAW CRUSHER**

*The approach of increasing the energy efficiency of jaw crushers with hydraulic drive is considered. The mathematical model of hydraulic jaw crusher operation is analyzed. The electro hydraulic system for pulse control of the hydraulic drive of the jaw crusher is proposed. It has been shown that the optimization of the hydraulic drive operation in the pulsed mode can be achieved by the correct selection of the parameters of the pulse generator, namely the pulse duration and period. It is shown that a significant gain in energy saving, system dimensions and its cost can be obtained by reducing the specific volume of the pump, and, consequently, its power, which is achieved by increasing the pulse repetition period with the same duration.*

**Key words:** jaw crusher, hydraulic accumulator, hydraulic drive, impulse control.

**Тумин Александр Николаевич**, ассистент кафедры «Прикладной гидромеханики» ГОУ ВПО ЛНР «Донбасский государственный технический университет», г. Алчевск.

**E-mail:** a\_tumin@mail.ru

**Tumin Alexander Nikolaevich**, Assistant of the Department "Applied Hydromechanics", GOU VPO LNR "Donbass State Technical University", Alchevsk.

**E-mail:** a\_tumin@mail.ru

**Ткачев Роман Юрьевич**, к.т.н. доцент кафедры «Автоматического управления технологическими процессами» ГОУ ВПО ЛНР «Донбасский государственный технический университет», г. Алчевск.  
**E-mail:** tirpitz@ukr.net

**Tkachev Roman Yuryevich**, Ph.D. Assistant Professor of the Department of "Automatic Control of Technological Processes" of GOU VPO LNR "Donbass State Technical University", Alchevsk.  
**E-mail:** tirpitz@ukr.net

**Левченко Эдуард Петрович**, к.т.н. доцент кафедры «Прикладной гидромеханики» ГОУ ВПО ЛНР

«Донбасский государственный технический университет», г. Алчевск.

**Levchenko Eduard Petrovich**, Ph.D. Associate Professor of the Department "Applied Hydromechanics" of the GOU VPO LNR "Donbass State Technical University", Alchevsk.

**E-mail:** levchenckoeduard@yandex.ua

**Рецензент: Харламов Юрий Александрович**, доктор технических наук, профессор кафедры «Машин металлургического комплекса» ГОУ ВПО ЛНР «Донбасский государственный технический университет».

*Статья подана 27.11.2017*

УДК 621.01: 62-883

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРИВОДОВ НА АЭРОСТАТИЧЕСКИХ ОПОРАХ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Утутов Н.Л.

## IMPROVEMENT OF DRIVES ON AEROSTATIC BEARINGS FOR INCREASING THE QUALITY OF TECHNOLOGICAL PROCESSES

Ututov N.L.

*Рассмотрены основные направления технического совершенствования прямых приводов на аэростатических опорах различной конструкции для повышения качества реализуемых с их помощью технологических процессов обработки материалов. Качество осуществляемых приводами технологических процессов исследовано с позиций решения задач повышения точности позиционирования рабочих или исполнительных органов приводов технологических машин, увеличения их жесткости и достигаемого максимального скоростного режима, устойчивости к возникновению колебательных процессов, расширения диапазона рабочих нагрузок. Показано, что решение данных задач достигается совершенствованием конструкции аэростатических опор различной геометрии, в том числе радиально-упорных конических, обеспечением статической и динамической устойчивости роторов, применением рациональных конструктивных схем. На примере одноопорного и шпинделя станка резки монокристаллов и двухопорного высокоскоростного пневмошпинделя на конических аэростатических опорах, применяемых для обработки и резки различных материалов, показаны пути повышения качественных показателей технологических процессов и эксплуатационных характеристик приводов.*

**Ключевые слова:** аэростатическая опора, технологический процесс, привод, качественные показатели, пневмошпиндель.

**Введение.** Существует тенденция расширения области применения приводов прямого действия в технологических машинах, а, следовательно, в технологических процессах обработки материалов. Она связана с неуклонным повышением мощности, точности и надёжности, быстродействия и экономичности прямых приводов [1]. Достаточно сказать, что современные пяти и трёхосевые обрабатывающие центры и роботизированные линии выполняют технологические операции почти исключительно прямыми приводами. Среди приводов прямого действия наиболее значительные функциональные преимущества и перспективы

технического совершенствования имеют приводы бесконтактного типа. В них исключается механический контакт между подвижными и статическими элементами привода при передаче крутящего момента на ротор (вал) и удержании его в пространстве [2]. Опоры бесконтактного типа принято разделять на гидро-, аэро- статические и динамические, гибридные. Но сочетание высоких частот вращения (от 40 до 300 тысяч об/мин) с прецизионной точностью позиционирования (0.5...5 мкм) и высокой жёсткостью – до 4,500 Н/мкм (ZOLLERN GmbH & Co) обеспечивают только аэростатические опоры (радиальные подшипники и подпятники). Сочетание высоких частот вращения, жёсткости и точности позиционирования позволяют выполнять высокоскоростное производительное точение, фрезерование и резку с минимальными отклонениями [3, 4].

По этим причинам модернизация приводов на аэростатических опорах направлена на повышение их динамической устойчивости при достижении высоких частот вращения и максимальной статической устойчивости (несущей способности и жёсткости) их опорных систем. Динамическая устойчивость связана со способностью привода противостоять возникновению колебательных процессов и резонанса в опорах и на роторе. Повышение статической устойчивости также актуально для аэростатических опор и призвано увеличить диапазон прикладываемых технологических нагрузок. [4].

**Целью работы** является исследование и систематизация основных направлений совершенствования прямых приводов на аэростатических опорах различной геометрии для повышения качества выполняемых ими технологических процессов обработки материалов по параметрам точности, скорости, динамической устойчивости и производительности.

**Изложение основного материала.**

Совершенствование приводов на аэростатических опорах требует проведения поэтапных исследований в нескольких взаимосвязанных направлениях.

Во-первых, выполняется анализ характеристик существующих приводов и их аэростатических опор, методов их проектирования, конструкций, условий изготовления и требований к эксплуатации. Априорно формулируются цели и направления поиска новых технических решений. Вторым этапом является разработка собственно технических решений для целенаправленного изменения технических характеристик и параметров приводов. Проверка эффективности новых технических решений математическим и компьютерным моделированием, а также экспериментально.

Положительный результат позволяет перейти к следующему этапу – конструкторско-технологической проработке новой конструкции привода и к созданию многопараметрической математической модели механической системы привода. Использование при этом трёхмерного моделирования и основанного на нём компьютерного инженерного анализа позволяют достаточно точно исследовать численными методами физические процессы при функционировании привода или отдельной опоры (возникновение подъёмной силы в аэростатической опоре, колебания вала, деформации элементов конструкции и т.д.).

Исследование динамической системы привода направлено, прежде всего, на обеспечение его динамической устойчивости на переходных режимах разгона и торможения, при действии переменных технологических нагрузок, прохождении критических частот вращения. Выполняется поиск условий или критериев устойчивости вращения роторов, способов конструктивной реализации таких условий [4, 5].

**Результаты исследований.** Выполненные исследования позволили определить направления совершенствования прямых приводов на аэростатических опорах, реализация которых повышает качество технологических процессов обработки материалов:

1. Повышение запаса динамической устойчивости (снижение амплитуд колебаний и биений роторов и валов, недопущение явления резонанса) за счёт изначального исследования и синтеза привода как единой механической системы. Определение критериев (параметрических условий) динамической устойчивости привода для каждого варианта конструкции.

2. Разработка конструкций аэростатических одноопорных систем высокой грузоподъёмности и замена ими многоопорных систем, например, в шпинделях станков резки полупроводниковых монокристаллов (рис. 1.) [5, 6].

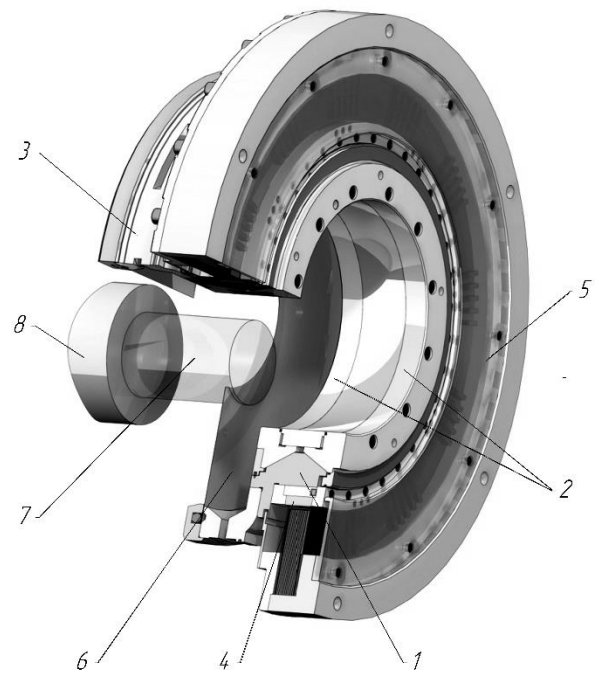


Рис. 1. Одноопорный шпindelь станка резки:  
1 – подвижная часть конической аэростатической опоры;  
2 – статическая часть аэростатической опоры; 3 – натяжное устройство; 4 – магнитная система двигательного устройства; 5 – электрический статор двигательного устройства;  
6 – инструмент (АКВР); 7 – разрезаемый монокристалл сапфира; 8 – подвижный держатель монокристалла

3. Минимизация числа конструктивных элементов и длины пути силового потока (мощности) в бесконтактных приводах [7]. Конструкция прямых приводов бесконтактного типа позволяет уменьшить массу, количество вращающихся деталей и узлов, соединений между ними в роторах и валах, уменьшить габариты и величину пути силового потока. Это повышает жёсткость конструкции ротора (вала), сбалансированность и точность его позиционирования, уменьшает инерционность для более динамичного разгона и торможения, снижает крутильные и другие виды колебаний, уровень механического гистерезиса при реверсивном движении.

4. Повышение удельной мощности и грузоподъёмности бесконтактных приводов за счёт увеличения частот вращения, применения гибридных и комбинированных аэростатических опор, повышения давления газовой смазки в зазоре посредством внутренних лабиринтных прямоочных уплотнений, внешнего дополнительного дросселирования и т.п. [5].

5. Применение в приводе аэростатических опор с коническими опорными поверхностями различной геометрии и с изменяемым средним зазором для целенаправленного регулирования жёсткости, несущей способности и собственных частот колебаний привода в широких диапазонах.

На кафедре машиноведения разработан высокоскоростной пневмошпиндель с регулируемыми коническими аэростатическими опорами. Результаты расчётов и экспериментальных исследований показали, что регулирование по величине зазора конических аэростатических опор пневмошпинделя позволяет изменять радиальную подъёмную силу до 13%, осевую – до 21%, жёсткость – до 42%, собственные частоты колебаний – до 28%. Это даёт возможность настраивать пневмошпиндель под условия технологического процесса. На рис. 2. показан характер изменения радиальной жёсткости  $K_{\text{ЕХКП}}$  опоры пневмошпинделя от зазора  $C$  при двух величинах давления  $p_s$  воздушной смазки. Модернизированный вариант опоры обозначен как «МО», а исходный – «ИО» [5].

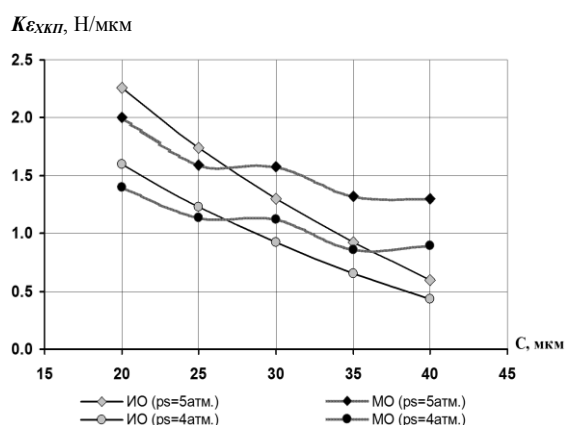


Рис. 2. Зависимость радиальной жёсткости конической аэростатической опоры от регулируемой величины зазора с воздушной смазкой

По характеру представленных зависимостей видно, что модернизированная опора обладает более равномерной жёсткостью во всем диапазоне регулирования.

6. Создание принципиально новых конструкций бесконтактных приводов с комбинированным обеспечением устойчивости вращения ротора за счёт использования двигательных устройств с регулируемым главным вектором движущих сил, который в механической системе привода служит повышению статической и динамической устойчивости.

**Выводы.** Системный подход к техническому совершенствованию приводов на аэростатических опорах показал свою эффективность, так как основан на представлении привода как единой и регулируемой механической системы. Предложенные направления совершенствования приводов позволяют повысить и регулировать несущую способность, жёсткость, предельные частоты вращения опор и роторов, точность их позиционирования и динамическую устойчивость. Это обеспечивает повышение качества реализуемых

приводами технологических процессов обработки материалов.

### Л и т е р а т у р а

1. Технология прямого привода. IDAM, INA – Drives & Mechatronics [Электронный ресурс] Schaeffler Group Industrial. – Режим доступа: [http://www.directdrives.de/en/download/IDAM\\_Image\\_080515\\_russisch.pdf](http://www.directdrives.de/en/download/IDAM_Image_080515_russisch.pdf) – Заголовок с экрана.
2. Pavel Nosko. The concept of creating non-contact drive for working bodies in machines of various purpose / Pavel Nosko, Vladimir Breshev, Pavel Fil // Polish Academy of sciences in Lublin TEKA Commission of motorization in agriculture. Vol. VIIIA. – Lublin, 2008. – P. 126–133.
3. Космынин А. В. Шпиндели на газовых опорах – перспективный путь развития высокоскоростной обработки металлов / А. В. Космынин, М. Р. Петров // Современные проблемы науки и образования. – 2006. – №6. – С. 47–48.
4. Пинегин С. В. Статические и динамические характеристики газостатических опор / Пинегин С. В., Табачников Ю. Б., Сипенков И. Е. – М.: Наука, 1982. – 265 с.
5. Брешев В. Е. Приводы машин на регулируемых конических аэростатических опорах: Монография / В. Е. Брешев, А. В. Брешев. – Луганск: Изд-во Луганского государственного университета им. В. Даля, 2016. – 200 с.
6. Pavel Nosko. Analysis of design and calculation of parameters of non-contact drive single-support system / Pavel Nosko, Aleksey Breshev, Pavel Fil, Vladimir Breshev // Polish Academy of sciences in Lublin TEKA Commission of motorization and power industry in agriculture. Vol. XIB. – Lublin, 2011. – R. 102–110.
7. Крайнев, А.Ф. Идеология конструирования / Крайнев А.Ф. – М.: Машиностроение. – 1, 2003. – 384 с.

### R e f e r e n c e s

1. Tehnologija prjamogo privoda. IDAM, INA – Drives & Mechatronics [Elektronnyj resurs] Schaeffler Group Industrial. – Rezhim dostupa: [http://www.directdrives.de/en/download/IDAM\\_Image\\_080515\\_russisch.pdf](http://www.directdrives.de/en/download/IDAM_Image_080515_russisch.pdf) – Zagolovok s jekrana.
2. Pavel Nosko. The concept of creating non-contact drive for working bodies in machines of various purpose / Pavel Nosko, Vladimir Breshev, Pavel Fil // Polish Academy of sciences in Lublin TEKA Commission of motorization in agriculture. Vol. VIIIA. – Lublin, 2008. – R. 126–133.
3. Kosmynin A.V. Shpindel' na gazovyh oporah – perspektivnyj put' razvitiya vysokoskorostnoj obrabotki metallov / A.V. Kosmynin, M.R.Petrov // Sovremennye problemy nauki i obrazovanija. – 2006. – №6 – S. 47–48.
4. Pinegin S. V. Staticheskie i dinamicheskie harakteristiki gazostaticheskix opor / Pinegin S. V., Tabachnikov Ju.B., Sipenkov I. E. – M.: Nauka, 1982. – 265 s.
5. Breshev V.E. Privody mashin na reguliruemym konicheskix ajerostaticheskix oporah: Monografija / V.E. Breshev, A. V. Breshev. – Lugansk: Izd-vo Luganskogo gosudarstvennogo universiteta im. V. Dalja, 2016. – 200 s.
6. Pavel Nosko. Analysis of design and calculation of parameters of non-contact drive single-support system / Pavel Nosko, Aleksey Breshev, Pavel Fil, Vladimir Breshev // Polish Academy of sciences in Lublin TEKA Commission of motorization and power industry in agriculture. Vol. XIB. – Lublin, 2011. – R. 102–110.
7. Krajnev A.F. Ideologija konstruirovaniya / Krajnev A.F. – M.: Mashinostroenie. – 1, 2003. – 384 s.

**Ututov N.L.**

**IMPROVEMENT OF DRIVES ON AEROSTATIC BEARINGS FOR INCREASING THE QUALITY OF TECHNOLOGICAL PROCESSES**

*The main directions of technical improvement of direct drives on aerostatic bearings of various designs for improving the quality of material processing processes implemented with their help are considered. The quality of realization of the drives by technological processes has been investigated from the standpoint of increasing the accuracy of positioning of the working or actuating bodies of the drives of technological machines, their rigidity and the maximum speed regime achieved, resistance to the occurrence of oscillatory processes, and expansion of the range of workloads. It is shown that the solution of these problems is achieved by improving the design of aerostatic bearings of various geometries, including radial-thrust conical, providing static and dynamic stability of the rotors, and the use of rational design schemes. With help of a spindle of a machine for cutting single crystals such as silicon, sapphire, etc., as well as a high-speed pneumatic spindle. on conical aerostatic bearing for processing and cutting different materials, ways of improving the qualitative indicators and performance characteristics are shown.*

**Key words:** *aerostatic bearing, technological process, drive, qualitative indicators, pneumatic spindle.*

**Утутов Николай Лазаревич**, д.т.н., профессор, профессор кафедры «Машиноведение» ГОУ ВПО ЛНР «Луганский национальный университет имени Владимира Даля», г. Луганск.

**E-mail:** machine\_lug@mail.ru

**Ututov Nikolaj Lazarevich**, Doctor of technical sciences, Professor, Professor at the Department of Machine Science Engineering, State Educational Establishment of Higher Professional Education «Lugansk Vladimir Dahl National University», Lugansk.

**E-mail:** machine\_lug@mail.ru

**Рецензент: Куликов Юрий Андреевич**, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Двигатели внутреннего сгорания» ГОУ ВПО ЛНР «Луганский национальный университет имени Владимира Даля».

*Статья подана 27.11.2017*

УДК 628.16.06

## СПОСОБ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ ЖИДКОСТИ И УСТРОЙСТВО ДЛЯ ЕГО РЕАЛИЗАЦИИ

Чебан В.Г.

## METHOD OF HYDRODYNAMIC CLEANING OF LIQUID AND DEVICE FOR ITS IMPLEMENTATION

Cheban V.G.

*Приведен краткий обзор истории создания гидродинамических очистителей. Описан гидродинамический способ очистки и его главное отличие от процесса фильтрации. Выявлены основные недостатки, возникающие при реализации данного способа в существующих конструкциях гидродинамических очистителей. Предложено конструктивно новое решение по реализации гидродинамического способа очистки жидкостей от механических примесей.*

**Ключевые слова:** гидродинамическая очистка, фильтрация, жидкость, фильтр, концентрат.

**Введение.** Гидродинамическая очистка (ГДО) жидкостей от механических примесей известна примерно с середины 20-го столетия. Для ее реализации в то время использовались неполнопоточные гидродинамические фильтры (НГДФ), в которых часть очищаемой жидкости непрерывно сливалась в отстой с целью обеспечения принципа ГДО, и полнопоточные гидродинамические фильтры (ПГДФ), в которых вся жидкость подлежала очистке. Понятие «вся жидкость подлежала очистке» является практически условным и использовано традиционно, как и для других самоочищающихся фильтров, работающих по принципу тупиковой фильтрации с периодической очисткой фильтрующей поверхности обратным потоком фильтрата и сбросом его и скопившихся загрязнений в отстой. Для снижения потерь жидкости обратную промывку проводят через определенное время или при достижении критического значения перепада давления. Эту сливаемую часть жидкости в самоочищающихся фильтрах аккуратно завуалировали под названием промывочная жидкость. С ухудшением качества исходной жидкости, когда самоочищающийся фильтр вынужден работать в режиме непрерывной очистки фильтрующей поверхности, потери промывочной жидкости становятся соизмеримыми с потерями жидкости в НГДФ. Говоря о потерях жидкости в НГДФ, следует понимать, что их

количество напрямую зависит от максимально допустимого размера частиц загрязнений в исходной жидкости, так как он определяет ширину выхода из рабочего канала, через который ведется слив из фильтра. Все высокопроизводительные неполнопоточные гидродинамические очистители типа «цилиндр в цилиндре» (НГДО типа 2Ц), внедренные в производство в начале 21-го столетия, способны очищать воду от загрязнений с максимальным размером частиц до 20 мм. Это значение, принятое с учетом используемых в системах водоснабжения заградительных сеток в местах водозабора и защитных сеток насосов, существенно ограничивает применение известных самоочищающихся обратным потоком фильтров.

К концу 20-го столетия ранее известная и столь логически обоснованная ГДО из-за выявленных проблем не стала востребованной вообще, так как по ряду причин средства ее реализации не выполняли функции ГДО жидкости. Поэтому, они и были названы тогда фильтрами, а не очистителями. О проблемах реализации ГДО, длившихся почти до конца столетия, и путях их решения достаточно полно изложено в опубликованных работах [1, 2].

**Задача данной работы** состоит в расширении возможностей ГДО, изложенных в работе [2].

При этом предварительно следует выделить два существенных момента.

Первый состоит в том, что, с целью обеспечения упрощения конструкции очистителей и расширения их типажа, разделение жидкости на фильтрат и концентрат в зазоре (рабочем канале) вдоль проницаемой поверхности не обязательно проводить с постоянной продольной скоростью. Выполнение данного условия приводило к резкому усложнению конструкции НГДО любого типа. Установлено, что в этом случае остается важным лишь тот момент, чтобы скорость потока жидкости над проницаемой поверхностью была как минимум равна или больше скорости, определяемой из условия

$$v_{np} \geq 2 \cdot v_o \cdot C / d_o, \quad (1)$$

где  $v_{np}$  – скорость жидкости в рабочем канале вдоль проницаемой поверхности,  $м/с$ ;

$v_o$  – скорость жидкости через проницаемую поверхность (скорость фильтрата),  $м/с$ ;

$C$  – размер ячеек проницаемой поверхности, измеренный вдоль потока жидкости в рабочем канале,  $мм$ ;

$d_o$  – максимально допустимый размер частиц загрязнения в фильтрате,  $мм$ .

При этом наиболее предпочтительной является постепенно уменьшающаяся скорость потока жидкости в рабочем канале от входа к выходу из него, причем на выходе она должна иметь минимально допустимое значение при заранее выбранном значении  $C$  и неизменных значениях  $v_o$  и  $d_o$ .

Второй момент состоит в том, что расширено значение  $C$  от  $3 \cdot d_o \leq C \leq 10 \cdot d_o$  до значения  $d_o \leq C \leq 10 \cdot d_o$ , что позволяет снизить скорость потока жидкости на выходе из рабочего канала. То есть снизить потери очищаемой жидкости со сливом при неизменных значениях ширины выхода из рабочего канала,  $v_o$  и  $d_o$ . С этих пор средства реализации ГДО жидкостей стали называть очистителями, а не фильтрами, так как принцип фильтрации в них не используется.

Решение проблем ГДО в конце 20-го столетия позволило успешно начать реализацию ГДО технической воды на предприятиях черной металлургии. Это стало возможным благодаря разработке новой конструкции неполнопоточного гидродинамического очистителя воды типа «цилиндр в цилиндре» (НГДО типа 2Ц). Он [3] был признан и принят к использованию в начале 21-го столетия рядом металлургических предприятий Украины, России, Казахстана и Узбекистана. Для более полного удовлетворения потребностей заказчиков постоянно продолжались работы по усовершенствованию НГДО типа 2Ц и схем очистки воды с целью снижения ее потерь со сливом [4]. Такой подход позволил реализовать в самом начале 21-го столетия более 100 НГДО типа 2Ц для очистки воды с максимальным размером частиц загрязнений до 20  $мм$  и производительностью от 50 до 5000  $м^3/час$ .

Ныне основными проблемами ГДО являются однотипность конструкции НГДО, используемой при ее реализации, и отсутствие специализированного предприятия по их выпуску. Возможности более полного усовершенствования НГДО типа 2Ц исчерпаны, а проектные разработки новых типов НГДО на данном этапе отсутствуют. Усовершенствованием собственно конструкции НГДО типа 2Ц не удалось достичь желаемых результатов по снижению потерь очищаемой воды, например, до значения современных самоочищающихся фильтров Yamit, Amiad и

Tekleen [5-8], что потребовало использования дополнительных средств очистки с усложнением систем очистки. Это связано с тем, что в такой конструкции НГДО отсутствует возможность в полной мере использовать изложенные выше особенности принципа ГДО [2], которые более полно могут быть учтены, например, в конструкции НГДО с использованием конических поверхностей корпуса и фильтрующего элемента (ФЭ), например, в очистителе, описанном в источнике [9] или в НГДО типа конус в конусе. Но и в них эти особенности учтены не в полной мере, так как сокращение потерь воды со сливом достигается только путем уменьшения площади выхода рабочего канала за счет уменьшения диаметра выхода из него. При этом остаются неизменными его ширина, определяемая размером максимально допустимого диаметра частиц загрязнения в очищаемой воде, и скорость фильтрата сквозь проницаемую поверхность с одинаковыми размерами  $C$  ячеек по всей длине рабочего канала. С учетом выше изложенного проницаемая поверхность может быть выполнена с равномерно или дискретно уменьшающимися размерами ячеек, расположенными вдоль потока, и иметь значения  $C \leq 3 \cdot d_o$  в конце рабочего канала. При значении  $C = d_o$  на таком участке будет иметь место обычная фильтрация с непрерывной очисткой проницаемой поверхности при продольной скорости воды в рабочем канале  $V_{np} \geq 2 \cdot V_o$ .

Следовательно, предлагается способ ГДО жидкости (воды) от механических примесей, заключающийся в подаче очищаемой воды в очиститель, образованный многоконусным корпусом и разделяющей воду на фильтрат и концентрат поверхностью, состоящей как минимум из двух последовательно состыкованных секций, покрытых сетками с одинаковыми размерами ячейками, из которых как минимум последняя вдоль потока секция выполнена в виде конуса [9]. При этом формирование потока воды в рабочем канале осуществляют вдоль проницаемой поверхности с равномерно или секционно уменьшающимися в направлении потока сторонами ячеек.

Реализация предложенного способа достигается тем, что в известном НГДО воды от механических примесей [9], содержащем корпус, состоящий как минимум из одного усеченного конуса, ФЭ, выполнен из двух последовательно соединенных в направлении потока воды секций в виде цилиндра и усеченного конуса, и установлен коаксиально в корпусе с образованием сужающегося в том же направлении кольцевого рабочего канала, выход из которого образован малыми основаниями последних по потоку усеченных конусов корпуса и ФЭ. При этом проницаемые поверхности обеих секций выполнены в виде сеток с ячейками, размер  $C$  которых одинаков и в 3÷10 раз больше допустимого в фильтрате максимального диаметра



$d_o$  частичек примесей. Согласно предложению последняя по потоку секция ФЭ покрыта сеткой с размерами ячеек меньшими, чем в сетке предыдущей секции, а их значение принято из условия  $d_o \leq C \leq 3 \cdot d_o$ .

Кроме того, и другие по потоку очищаемой воды секция ФЭ могут быть выполнены в виде усеченного конуса.

Учитывая тот факт, что покрытие конуса сеткой приводит к большим ее потерям, проникаемая поверхность конических секций может быть выполнена в виде навивки из треугольной проволоки с образованием гладкой поверхности со стороны рабочего канала и круговых щелей между витками, то есть по типу теко-слот конструкции [10]. При этом следует учитывать малый коэффициент живого сечения такой поверхности в сравнении с сетчатой, что увеличивает габариты очистителя, но имеет значительно больший срок службы.

Для большей ясности выше изложенного на рисунке 1 представлена схема самого простого по составу предлагаемого НГДО жидкости от механических примесей. Он содержит корпус, выполненный из двух последовательно соединенных усеченных конусов 1 и 2, подводной 3, отводной 4 и сливной 5 патрубки. В корпусе коаксиально расположен ФЭ, выполненный из двух последовательно соединенных секций 6 и 7 в виде усеченных конусов. Боковые поверхности секций покрыты сетками или выполнены в виде навивки из треугольной проволоки с образованием гладкой поверхности со стороны потока жидкости. При этом если секции выполнены с сетками, то секция 7 покрыта сеткой с размером  $C$  ячейки меньшим, чем сетка в секции 6, а если в виде навивки, то секция 7 выполнена с шириной щели  $C$  между витками меньшей, чем в секции 6. Полость ФЭ сообщена с отводным патрубком 4. При этом боковые поверхности корпуса и ФЭ образуют кольцевой зазор (рабочий канал) 8, сужающийся в направлении потока жидкости и сообщенный с подводным 3 и сливным 5 патрубками, последний из которых входным концом присоединен к малому основанию конуса 2 корпуса, которое совместно с малым основанием конуса секции 7 ФЭ образуют выход из рабочего канала 8.

Для работы очиститель соответствующими патрубками подсоединяют к трубопроводам очищаемой жидкости, фильтрата и слива концентрата. При этом монтируют: перед подводным патрубком 3 - задвижку 9, после отводного патрубка 4 - задвижку 10 и расходомер 11, после сливного патрубка 5 - регулирующий клапан 12 и расходомер 13. При положении очистителя, показанном на рисунке 1, его оборудуют и сбросным патрубком 14, выход из которого подсоединяют к сливному трубопроводу через задвижку 15. Кроме того, очиститель оборудуется

задвижкой 16 на трубопроводе, соединяющем выход отводного патрубка 4 со сливным трубопроводом, используемым для очистки полости очистителя при закрытой задвижке 10 и настройке режима гидродинамической очистки в момент запуска очистителя в работу, а также манометрами 17 и 18.

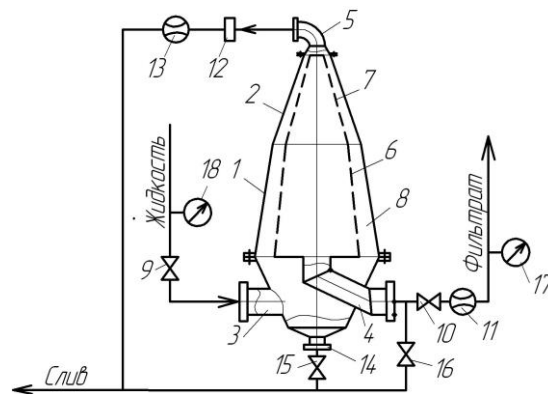


Рис. 1. Схема НГДО жидкости

В связи с тем, что ФЭ в гидродинамических очистителях выполняются с проникаемой поверхностью, размер ячеек которых больше размера диаметра частичек примеси, максимально допустимого в фильтрате, в момент запуска их в работу, когда режим гидродинамической очистки еще не наступил, существует возможность загрязнения фильтрата и его тракта. Что бы этого избежать, при запуске очистителя в работу выполняют настройку в нем начала гидродинамического режима очистки, которая делается следующим образом.

В исходном состоянии регулирующий клапан 12 и все задвижки закрыты. Жидкость подводится со стороны задвижки 9, а ее наличие в подводящем трубопроводе фиксируется манометром 18. После установления известного давления очищаемой жидкости в линии ее подачи, постепенно приоткрывают задвижку 9 и регулирующий клапан 12 до показания расходомера 13, равного значению как минимум двукратной величины сливаемой части воды на промывку ФЭ, указанной в технической характеристике очистителя. Затем постепенно открывают задвижку 16 для слива загрязненного фильтрата из полости ФЭ и одновременно посредством регулирующего клапана 12 по показанию расходомера 13 снижают слив воды до заданного в технической характеристике значения. В таком состоянии систему удерживают примерно 10 минут. За это время начинает осуществляться режим гидродинамической очистки, так как продольная скорость воды в рабочем канале 8 значительно превышает скорость фильтрата через ячейки, поэтому полость ФЭ постепенно заполняется чистым фильтратом. И только после

этого закрывают задвижку 16 и постепенно открывают задвижки 9 и 10. При этом постоянно наблюдают за показанием расходомеров 11 и 13, не допуская падения расхода сливаемой части воды ниже заданного значения. Далее задвижки 9 и 10 продолжают открывать до достижения значения расхода фильтрата на расходомере 11, указанного в технической характеристике очистителя. При необходимости продолжают корректировать сливаемую часть воды и выход фильтрата до заданных значений с помощью регулирующего клапана 12 и задвижек 9 и 10 при полностью закрытой задвижке 16.

После этого очиститель работает следующим образом. Очищаемая вода под давлением из линии ее подачи поступает в полость подводного патрубка 3, откуда попадает на вход рабочего канала 8 и движется в нем с заданной при настройке скоростью вдоль конических проницаемых поверхностей секций 6 и 7 ФЭ. При этом часть жидкости повышенной концентрации, заданная при настройке очистителя, из рабочего канала 8 через сливной патрубок 5 сливается в канализацию или подается потребителю, а другая ее часть в виде фильтрата через проницаемую поверхность ФЭ поступает внутрь него и далее покидает очиститель через отводной патрубок 4 и в нужном количестве подается потребителю.

В ходе длительной непрерывной работы очистителя в нижней его части, возможно, скопление загрязнений, которые периодически удаляются посредством задвижки 15 при кратковременном ее открытии в ручном или автоматическом режиме.

Манометры 17 и 18 используют для контроля работы очистителя и линий подачи жидкости и отвода фильтрата и концентрата. При этом о работе очистителя судят по разности показаний давления манометров.

Выполнением последней по потоку жидкости секции ФЭ с размером ячеек или шириной щели между витками треугольной проволоки меньшими, чем в предыдущей секции, достигается снижение потерь жидкости со сливом за счет уменьшения ее скорости на выходе из рабочего канала.

Более весомое снижения потерь жидкости со сливом достигается в случаях, если значение размера  $C$  ячеек сетки или щели между витками навивки в секции со стороны выхода из рабочего канала принимается из условия  $d_o \leq C \leq 3 \cdot d_o$ .

Выполнение первой секции ФЭ также в виде усеченного конуса расширяет конструктивные возможности создания рабочего канала и обеспечивающего постепенное уменьшение скорости потока жидкости в нем.

Использование навивки из треугольной проволоки обеспечивает замену сеток, потери которых значительны при раскрое их для покрытия конусных поверхностей. Получаемая после навивки

гладкая поверхность значительно улучшает условия движения очищаемой жидкости в рабочем канале и разделения ее на фильтрат и концентрат. Кроме того, наличие навивки значительно повышает срок службы очистителя, так как выполняется из проволоки большего сечения, чем сетка. Теко-слот навивку целесообразно использовать для небольших по производительности очистителей.

**Выводы.** 1. Предложенная конструкция НГДО обеспечивает в полной мере реализацию гидродинамического способа очистки жидкости.

2. Рассмотренные варианты исполнения ФЭ способны существенно повысить производительность очистителя по фильтрату за счет снижения потерь жидкости, используемой для саморегенерации проницаемой поверхности.

### Л и т е р а т у р а

1. Финкельштейн З.Л. Применение и очистка рабочих жидкостей для горных машин / З.Л. Финкельштейн. – М. : Недра, 1986. – 232с.
2. Чебан В.Г. Перспективы применения неполопоточных гидродинамических очистителей воды как альтернативы использования автоматических самопромывных фильтров / В.Г. Чебан, А.Н. Тумин // ВодаMagazine. – 2016. – № 12 (112). – С.42-46.
3. Пат. 46507 Україна, МПК6 B01D 29/13, 35/02. Очистник потоку рідини / Бондаренко В.П.; заявник і патентовласник Бондаренко В.П. - №и2001075440, заявл. 31.07.01; опубл. 15.02.05, Бюл. №2.
4. Бондаренко В.П. Системы гидродинамической очистки жидкостей от механических примесей в потоке. // Современные научные исследования и инновации. 2012. № 3 [Электронный ресурс] / Режим доступа : <http://www.web.snauka.ru/issues/2012/03/10598>.
5. Автоматические самопромывные фильтры. [Электронный ресурс] / Режим доступа : <http://www.tehg.ru/auto-filtr>.
6. Продукция Amiad. [Электронный ресурс] / Режим доступа : <http://www.interresurs.com.ua/index/amiad/0-459>.
7. Продукция Tekleen. [Электронный ресурс] / Режим доступа : <http://www.interresurs.com.ua/index/tekleen/0-460>.
8. Сеточные фильтры. Технология. [Электронный ресурс] / Режим доступа : [http://www.yamit-f.biz/screen.html#sc\\_07](http://www.yamit-f.biz/screen.html#sc_07).
9. Пат. 54092 Україна, МПК9 B01D 29/00, 35/30. Гідродинамічний фільтр / Чебан В.Г.; заявник і патентовласник ДонДТУ. – №u201005308, заявл. 30.04.10; опубл. 25.10.2010, Бюл. № 20.
10. Конструкция «ТЭКО-СЛОТ». [Электронный ресурс] / Режим доступа : <http://www.tekslot.ru/construction/>.

### References

1. Finkel'shtejn Z.L. Primenenie i ochistka rabochih zhidkostej dlja gornyh mashin / Z.L. Finkel'shtejn. – M. : Nedra, 1986. – 232s.
2. Cheban V.G. Perspektivy primenenija nepolnopotochnyh gidrodinamicheskikh ochistitelej vody kak al'ter-nativy ispol'zovanija avtomaticheskikh samopromyvnyh fil'trov / V.G. Cheban, A.N. Tumin // VodaMagazine. – 2016. – № 12 (112). – S.42-46.

3. Pat. 46507 Ukraïna, MPK6 V01D 29/13, 35/02. Ochisnik potoku ridini / Bondarenko V.P.; zajavnik i patentovlasnik Bondarenko V.P. - №i2001075440, zajavl. 31.07.01; opubl. 15.02.05, Bjul. №2.

4. Bondarenko V.P. Sistemy gidrodinamicheskoi ochistki zhidkostej ot mehanicheskikh primesej v potoke. // Sovremennye nauchnye issledovanija i innovacii. 2012. № 3 [Jelektronnyj resurs] / Rezhim dostupa : <http://www.web.snauka.ru/issues/2012/03/10598>.

5. Avtomaticheskie samopromyvnye fil'try. [Jelektronnyj resurs] / Rezhim dostupa : <http://www.teh-g.ru/auto-filtr>.

6. Produkcija Amiad. [Jelektronnyj resurs] / Rezhim dostupa : <http://www.interresurs.com.ua/index/amiad/0-459>.

7. Produkcija Tekleen. [Jelektronnyj resurs] / Rezhim dostupa : <http://www.interresurs.com.ua/index/tekleen/0-460>.

8. Setochnye fil'try. Tehnologija. [Jelektronnyj resurs] / Rezhim dostupa : [http://www.yamit-f.biz/screen.html#sc\\_07](http://www.yamit-f.biz/screen.html#sc_07).

9. Pat. 54092 Ukraïna, MPK9 B01D 29/00, 35/30. Gidrodinamichnij fil'tr / Cheban V.G.; zajavnik i patentovlasnik DonDTU. - №u201005308, zajavl. 30.04.10; opubl. 25.10.2010, Bjul. № 20.

10. Konstrukcija «TEKO-SLOT». [Jelektronnyj resurs] / Rezhim dostupa : <http://www.teko-slot.ru/construction/>.

**Cheban V.G.**

#### **METHOD OF HYDRODYNAMIC CLEANING OF LIQUID AND DEVICE FOR ITS IMPLEMENTATION**

*The short review of the history of the creation of hydrodynamic cleaners is given. The hydrodynamic method of*

*cleaning and his main difference from the filtration process is described. The main shortcomings arising at realization of this method in existing designs of hydrodynamic cleaners are revealed. A constructively new solution for the realization of a hydrodynamic method of cleaning liquids from mechanical impurities is proposed.*

**Key words:** *hydrodynamic cleaning, filtration, liquid, filtrate, concentrate.*

**Чебан Виктор Григорьевич**, к.т.н., доцент, заведующий кафедры «Прикладная гидромеханика» ГОУ ВПО ЛНР «Донбасский государственный технический университет», г. Алчевск.

**E-mail:** edvik2010@yandex.ua

**Cheban Viktor Grigorovych**, Canddate of Sciences, a dosent of the Chair «Applied Hydromechanics», State Educational Establishment of Higher Professional Education «Donbass State Technical University», city Alchevsk.

**E-mail:** edvik2010@yandex.ua

**Рецензент:** *Новохатский Александр Михайлович*, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедры «Металлургия черных металлов» ГОУ ВПО ЛНР «Донбасский государственный технический университет».

*Статья подана 30.11.2017*

УДК 621.318.38

## ОЦЕНКА МАГНИТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРИ ЛОКАЛЬНОМ НАМАГНИЧИВАНИИ ПРИСТАВНЫМИ ЭЛЕКТРОМАГНИТАМИ

Шатова Н.А.

### ESTIMATION MAGNETIC CHARACTERISTICS AT LOCAL MAGNETIZATION BY ELECTROMAGNETIC ACCEPTANCE

Shatova N.A.

*В данной статье предложен метод неразрушающего контроля массивных ферромагнитных изделий путем анализа одновременно нескольких магнитных характеристик, таких как коэрцитивная сила и намагниченность насыщения материала на этапах производства и эксплуатации. В работе предлагается использовать локальное намагничивание больших деталей сложной формы, имеющих ступеньки, галтельные переходы и т.д. В качестве намагничивающего устройства используется электромагнит в форме тороида с четырьмя корончатыми выступами, соседние из которых противоположны по полярности. Работа устройства заключается в многократном перемагничивании исследуемого участка контролируемого объекта и анализе магнитных характеристик после нескольких циклов перемагничивания.*

**Ключевые слова:** перемагничивание, коэрцитивная сила, намагниченность насыщения, приставной электромагнит, элементарный объем.

**Введение.** На современном этапе уровень развития промышленности характеризуется не только объемами промышленности и ассортиментом выпускаемой продукции, но и показателями её качества. Причём, говоря о качестве продукции, необходимо отметить два этапа: производство (отсутствие брака и соответствие выдвигаемым к данной продукции требованиям) и эксплуатация.

В процессе эксплуатации определение запаса прочности и прогнозирование надёжности конкретного изделия делается на основании неразрушающих методов контроля. Одним из наиболее информативных методов неразрушающего контроля физико-механических свойств и структуры ферромагнитных материалов и изделий из них является магнитный метод [1], который заключается в контроле таких магнитных параметров, как коэрцитивная сила и намагниченность насыщения стали. Этот метод основан на том, что физико-механические и магнитные свойства ферромагнитных материалов и

сплавов очень чувствительны к изменениям, происходящим в фазовом и химическом составе, структурном и напряжённом состоянии ферромагнитных материалов и сплавов [2]. Намагничивание массивных ферромагнитных изделий при неразрушающем контроле производится локально приставными электромагнитами. Расчёт подобных электрических аппаратов ведётся методом магнитных цепей или с применением весьма идеализированных аналитических зависимостей [3] для расчёта поля в ферромагнитной среде.

**Целью работы является** обзор существующих методов неразрушающего контроля крупногабаритных ферромагнитных изделий и анализ магнитных характеристик при локальном намагничивании приставными электромагнитами.

**Конструкция и принцип действия предлагаемого локального намагничивающего устройства.**

Для локального намагничивания предлагается использовать намагничивающее устройство [4], конструкция которого представлена на рисунке 1. Устройство состоит из электромагнита 1 в форме тороида с четырьмя корончатыми выступами, соседние из которых противоположные по полярности, и намагничивающей катушки 2.

Работа устройства заключается в следующем: электромагнит в форме тороида с четырьмя корончатыми выступами намагничивает поверхность контролируемого изделия. Электромагнит выключают, то есть контроль происходит в остаточном поле, и при помощи феррозондов считывают магнитную информацию. Электромагнит поворачивают на угол, равный

$\alpha = \frac{2 \cdot \pi}{N}$ , и опять намагничивают поверхность, но

так как соседние корончатые выступы имеют противоположную полярность, то фактически происходит перемагничивание поверхности. Этот процесс повторяется до тех пор, пока электромагнит

не повернется на 360°. Полученную информацию вновь считывают феррозонды, и она отражает картину поля после нескольких циклов перемагничивания.

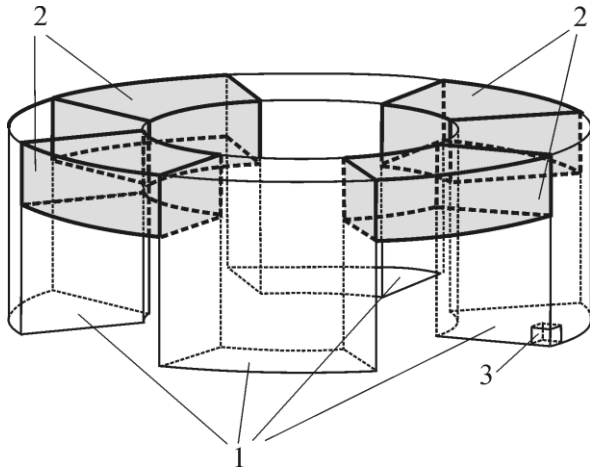


Рис. 1. Намагничивающее устройство: 1 – электромагнит в форме тороида; 2 – намагничивающая катушка; 3 – элементарный объём

Сравнивая результаты, полученные феррозондом после одного намагничивания и после нескольких циклов перемагничивания, можно сделать вывод об изменении структуры материала, на основании чего можно судить о запасе прочности изделия и, как следствие, прогнозировать его срок службы.

**Анализ магнитных характеристик.**

Для расчета величины намагниченности в объеме ферромагнитного материала применяется интегральный метод, состоящий в численном решении нелинейных пространственных интегральных уравнений для намагниченности ферромагнитных деталей [5].

Контролируемый ферромагнитный материал представляется в виде элементарных кубических объемов, геометрическая модель намагничиваемого участка показана на рис. 2.

При кусочно-постоянной аппроксимации намагниченности по объему кубическими элементами напряженность поля в произвольной точке пространства определяется выражением:

$$\vec{H}_i = \frac{1}{4\pi} \sum_{j=1}^N \sum_{R=1}^6 (\vec{M}_j \cdot \vec{i}_{nj}) \int_{S_L} \frac{\vec{r}_{ij}}{r_{ij}^3} dS_j + \vec{H}_0, \quad (1)$$

где  $N$  – общее число элементарных объемов с постоянной намагниченностью, выделенных в ферромагнитном полупространстве и в сердечниках намагничивающего устройства;

$i, j$  – точки наблюдения и источника;

$S_L$  – поверхность  $L$ -ой грани;

$\vec{i}_n$  – внешняя нормаль к рассматриваемой грани;

$\vec{M}_j$  – вектор намагниченности  $j$ -го объема;

$r_{ij}$  – радиус – вектор, соединяющий точку наблюдения с точкой источника;

$\vec{H}_0$  – вектор напряженности магнитного поля, создаваемый катушкой.

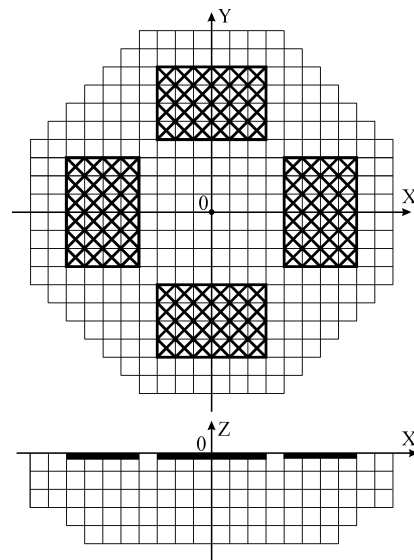


Рис. 2. Геометрическая модель намагниченного участка ферромагнитного полупространства

Система расчетных уравнений получается путем последовательного получения точки наблюдения в центр каждого экспериментального объема, в результате чего получается матричное уравнение:

$$\vec{H} = [A]\vec{M} + \vec{H}_\delta. \quad (2)$$

Уравнение (2) решается итерационным способом [5]:

$$\vec{M}^{n+1} = \vec{M}^n + \alpha (\vec{M}(H) - \vec{M}^n), \quad (3)$$

где  $n$  – номер итерации;

$\alpha$  – параметр итерационного процесса.

Если измерение намагниченности происходит путем определения магнитного потока в магнитопроводе намагничивающего устройства после отключения тока в его катушке без удаления намагничивающего устройства с намагниченного участка, то для определения магнитного потока можно использовать принцип взаимности [6]:

$$\Phi = \frac{1}{iw} \int_{V_M} \vec{M} \cdot \vec{H} dV_M, \quad (4)$$

где  $\vec{M}$  – вектор намагниченности в намагниченной области после отключения тока в обмотке;

$\vec{H}$  – напряженность магнитного поля, которое создается;

$V_M$  – объем намагниченного ферромагнитного материала.

В том случае, если после намагничивания области намагничивающее устройство убирается и на его место помещается магниточувствительный элемент (датчик Холла или феррозонд), расчет поля рассеяния производится по формуле:

$$\vec{H} = [A] \cdot \vec{M}, \quad (5)$$

в котором суммирование производится только для элементарных объемов, расположенных в намагничивающей области ферромагнитного материала.

При работе устройства как коэрцитиметра магнитный поток в магнитопроводе коэрцитиметра формируется не только за счет намагниченного до насыщения материала, но и за счет той области, намагниченность которых меньше  $M_C$ .

**Вывод.** Зная значение магнитного потока в магнитопроводе намагничивающего устройства до намагничивания и после нескольких циклов перемагничивания, можно аналитическим путем установить величину изменения коэрцитивной силы и сделать вывод об изменении структуры материала, а также спрогнозировать запас прочности изделия и срок его службы.

### Л и т е р а т у р а

1. Мужицкий В.Ф. Магнитный контроль напряженно-деформированного состояния и остаточного ресурса стальных металлоконструкций грузоподъемных кранов/ Мужицкий В.Ф., Попов Б.Е., Безлюдько Г.Я., Зарудный В.В., Левин В.А.// Дефектоскопия, 1996, №2, с. 12-18.
2. Загребельный В. И. Магнитный контроль напряженно-деформированного состояния сварных соединений и стальных металлоконструкций. Определение их остаточного ресурса/ Загребельный В. И.// Техническая диагностика и неразрушающий контроль, 1999, №4, с. 45 – 52.
3. Мельгуй М.А. Формы для описания нелинейных и гистерезисных свойств ферромагнетиков/ Мельгуй М.А.// Дефектоскопия, 1987, №11, с. 3-10.
4. Декларационный патент Украины №53061А МПК 7 H01F13/00. Пристрій для прогнозування надійності металевих конструкцій/ Яковенко В.В., Жученко Н.О.– Опубл. 15.01.2003. Бюл. №1.
5. Курбатов П.А. Использование интегральных уравнений для расчета магнитных систем магнитоэлектрических аппаратов и машин/ Курбатов П.А., Рослякова Е.И.// Тр.МЭИ, 1980, вып. 483, с. 80-83.
6. Поливанов К.М. Теоретические основы электротехники / К.М.Поливанов, Т.З.М. Энергия. –1972.– 299 с.

### References

1. Muzhickiy V.F. Magnitnyy kontrol napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya I ostatochnogo resursa stal'nyh metallokonstrukciy gruzopod'yemnyh kranov / Muzhickiy V.F., Popov B.E., Bezlyud'ko G.Ya., Zarudnyy V.V., Levin V.A.// Defektoseopija, 1996, №2, s.12-18.
2. Zagrebel'nyy V.I. Magnitnyy kontrol napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya svarynyh soedineniy I stal'nyh metallokonstrukciy. Opredelenie ih ostatochnogo resursa / Zagrebel'nyy V.I. // Tehnicheskaya diagnostika I nerazrushayuschiy kontrol', 1999, №4, s.45-52.
3. Mel'guy M.A. Formy dlya opisaniya nelineynyh I gisterезisnyh svoystv ferromagnetikov /. Mel'guy M.A. // Defektoseopija, 1987, №11, s.3-10.
4. Deklaraciynnyy patent Ukrainy №53061A MPK 7 H01F13/00 Prystriy dlya prognozuvannya nadiynosti metalevyh konstrukciy / Yakovenko V.V., Zhuchenko N.A. // Opubl. 15.01.2003, byul.№1.
5. Kurbatov P.A. Ispol'zovanie integral'nyh uravneniy dlya raschena magnitnyh system magnitoyelektricheskikh apparptov i mashin / . Kurbatov P.A., Roclyakova E.I. // Tr.MEI, 1980 , vyp.483, s.80-83/
6. Polivanov K.M. Teoreticheskie osnovy jelektrotehniki / K.M.Polivanov, T.Z.M. Yenerгija -1972-299 s.

**Shatova N.A.**

#### ESTIMATION MAGNETIC CHARACTERISTICS AT LOCAL MAGNETIZATION BY ELECTROMAGNETIC ACCEPTANCE

*In this paper, a method for nondestructive testing of massive ferromagnetic products is proposed by analyzing simultaneously several magnetic characteristics, such as the coercive force and the saturation magnetization of the material at the stages of production and operation. In this paper, it is proposed to use local magnetization of large parts of complex shape, having steps, halving transitions, etc. As the magnetizing device is used an electromagnet in the form of a toroid and four crowned protrusions, the neighboring of which are opposite in polarity. Operation of the device consists in repeated magnetization reversal of the investigated part of the monitored object and analysis and analysis of the magnetic characteristics after several cycles of magnetization reversal.*

**Key words:** magnetization reversal, coercive force, saturation magnetization, additive electromagnet, elementary volume.

**Шатова Наталья Александровна**–к.т.н., доц., доцент кафедры «Электромеханика» Луганского национального университета имени Владимира Даля.

**E-mail:** nzhuchenko@mail.ru

**Shatova Natalia Alexandrovna**—candidate of technical sciences, associate professor of department “Electromechanics”, Lugansk National University named by Vladimir Dahl.

**E-mail:** nzhuchenko@mail.ru

**Рецензент: Яковенко В.В.**, зав. каф. «Электромеханика», д.т.н., проф. Луганского национального университета им. В. Даля.

*Статья подана 08.11.2017*

УДК 620.179.14

## К РАСЧЕТУ МАГНИТНОГО ДАТЧИКА ПЕРЕМЕЩЕНИЯ УПРОЩЕННОЙ КОНСТРУКЦИИ

Яковенко В.В., Тарасенко О.В., Креселюк Ю.В., Ивженко А.А.

## TO CALCULATION OF THE MAGNETIC SENSOR OF MOVEMENT OF THE SIMPLE STRUCTURE

Yakovenko V.V., Tarasenko O.V., Kreselyuk Y.V., Ivzhenko A.A.

*Рассматривается расчет магнитной системы датчиков перемещения, состоящей из электромагнита и ферромагнитных протяженной детали (рельс, стального каната, стержня, проволоки и т. д.). С помощью электромагнита намагничивается участок носителя, магнитная метка. Целью расчета является определение параметров магнитного поля рассеяния метки. Математическая модель магнитного поля метки представляет собой нелинейное векторное уравнение. Интегральное уравнение дифференцируется к системе алгебраических уравнений для решения численным методом. Магнитные характеристики материала сердечника электромагнита и носителя задаются в аналитическом виде. Приводятся результаты численного и натурального эксперимента.*

**Ключевые слова:** Электромагнит, ферромагнитный носитель, феррозонд, интегральное уравнение, алгоритм, метка, датчик, эксперимент.

**Вступление.** Обычно [1, 2] магнитные датчики перемещения состоят из двух частей: одна часть представляет собой ферромагнитную деталь с выступами или впадинами, расположенными в определенных местах формирования информации, вторая – магниточувствительный элемент, которой, перемещаясь над поверхностью детали, фиксирует эти неровности. Примером является зубчатое колесо, над которым расположены магниточувствительный элемент, катушка, датчик Холла и феррозонд и т.п. который фиксирует прохождения магнитного потока над зубчатой поверхностью. Зубчатая поверхность может наноситься на специальные протяженные детали: стержень, планку, рычаг, и т. п.

Таким образом, существующие магнитные датчики перемещения состоят из двух специальных изготовленных частей: одна часть индуцирует информационное магнитное поле, вторая измеряет параметры этого поля.

Предлагается упрощенная конструкция датчика, используя в качестве источника информационного поля гладкую ферромагнитную поверхность с расположенными на ней локально

намагниченными участками «метками», а второй частью датчика является магниточувствительный элемент.

Упрощенная конструкция датчика основана на использовании неспециального магнитного носителя информации, который может быть деталью контролируемого механизма и иметь различные размеры от стальной проволоки до железнодорожного рельса [3]. При этом не вносятся изменения и дополнения в конструкцию контролируемого объекта, в чем и заключается основное преимущество предлагаемого метода построения датчика.

Принцип действия рассматриваемого датчика перемещения аналогичен магнитной записи, поэтому в литературных источниках называется [4,5] магнитной записью на неспециальный носитель. Общим является намагничивание локального участка поверхности ферромагнитного носителя.

Магнитные датчики перемещения могут быть как дискретными, так и аналоговыми. Аналоговые датчики измеряют перемещение в пределах локально намагниченного участка («метки»), дискретные реагируют на каждую метку.

Для технической реализации датчиков необходимо исследование параметров магнитного поля метки и ее стабильности во времени, а также влияния на стабильность магнитного поля рассеяния динамических нагрузок на ферромагнитный носитель. Также необходимо оценить возможность получения достаточной точности определения места, расположения метки по длине неспециального носителя. Эти вопросы рассматриваются в данной работе.

Принципы работы датчика.

На рис. 1 показана схема построения одного из вариантов магнитного датчика перемещения.

Над ферромагнитным носителем 1 устанавливается электромагнит 2 (рис. 1, а), который намагничивает локальную область

носителя. Сердечник электромагнита может иметь различную форму и размеры в зависимости от назначения датчика. С помощью электромагнита намагничиваются (наносятся метки 4) в местах фиксации положения магниточувствительного элемента 3 (рис. 1, б). Горизонтальная составляющая вектора напряженности магнитного поля (рис. 1, в) имеет максимум в центре метки, вертикальная составляющая в центре метки переходит через ноль и имеет линейный участок. Это дает возможность выделить участок в центре метки с достаточной точностью. Магнитное поле метки измеряется двумя феррозондами со взаимно перпендикулярно расположенными сердечниками. Выходные сигналы феррозондов пропорциональны составляющим вектора напряженности магнитного поля, поэтому имеется возможность выделить центр метки  $cd$  и две области, приближенные к центру  $ac$  и  $db$  (Рис. 1, в).

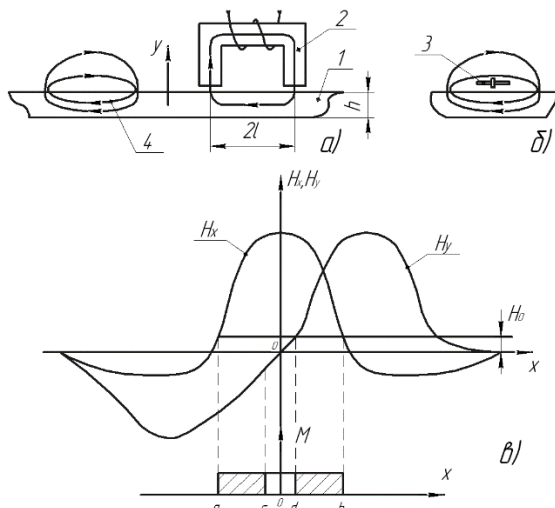


Рис. 1. Схема построения магнитного датчика перемещения: 1 – ферромагнитный носитель; 2 – электромагнит; 3 – феррозондовый магниточувствительный измерительный преобразователь; 4 – магнитная метка

Такой метод построения датчика и способ выделения информации не является единственным, и в зависимости от области применения его конструкция может меняться, но принцип нанесения метки, а затем её считывания остается неизменным. Геометрические и магнитные параметры носителя задаются областью применения датчика и не являются специально изготовленной деталью его магнитной системы.

#### Изложение основных материалов

**Расчет магнитного поля метки.** Для расчета магнитного поля метки необходимо определить параметры поля вектора намагниченности в нелинейном ферромагнитном пространстве носителя. Математическая модель должна позволять производить расчет при различных размерах носителя и геометрических параметрах электромагнита. Кроме того, математическая модель

должна учитывать следующее: электромагнит размещается на поверхности носителя, в его обмотку подается ток, участок носителя намагничивается, ток отключается, и остаточная намагниченность участка создает поле рассеяния метки. При этом электромагнит может убираться с метки, и происходит измерение параметров её поля рассеяния, а может оставаться на метке или частично удаляться (приподниматься над поверхностью носителя), и в таком положении электромагнита происходит измерение поля рассеяния метки.

В математическую модель магнитного поля должны включаться данные о магнитных характеристиках носителя на этапах его намагничивания. Таким требованиям наиболее полно отвечает математическая модель, основанная на численном решении интегрального векторного уравнения [6]:

$$\bar{H}(Q) = \frac{1}{4\pi} \left[ \int_{S_p} \frac{(M(H) \cdot \bar{i}_n) \bar{R}_{PQ}}{R_{PQ}^3} dS_p - \int_{V_p} \frac{\text{div} \bar{M} \cdot \bar{R}_{PQ}}{R_{PQ}^3} dV_p \right] + \bar{H}_{cm}(Q), \quad (1)$$

здесь  $P, Q$  – точки источника и наблюдения;

$\bar{H}(Q)$  – вектор напряженности магнитного поля внутри ферромагнетика;

$\bar{H}_{cm}(Q)$  – напряженность магнитного поля стороннего поля (катушки);

$\bar{i}_n$  – единичный вектор нормали к поверхности металла;

$S_p, V_p$  – площадь поверхности и объем ферромагнетика;

$M(H)$  – намагниченность.

Численное решение (1) выполняется по способу, предложенному в [7]. Областью решения (1) является магнитопровод и намагниченный участок носителя. Область решения разбивается на элементарные объемы, представляющие собой параллелепипеды, в результате чего уравнение (1) представляется в виде системы алгебраических уравнений

$$\bar{H}_i = -\frac{1}{4\pi} \sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^6 (\bar{M}_j \cdot \bar{n}_{jk}) \int \frac{\bar{R}_{jk}}{R_{jk}^3} dS_k + \bar{H}_{cm}, \quad (2)$$

где  $N$  – число элементарных объемов, на которые разбивается область решения уравнения (1);

$j$  – точки наблюдения и источников;

$k$  – номер грани элементарного объема.

Первые слагаемые в системе уравнений (2) представляют собой напряженность размагничивающего поля  $\bar{H}_p$ .

В свернутом виде система уравнений (2) записывается так:



$$\overline{H} = [A]\overline{M} + \overline{H}_{cm}. \quad (3)$$

Коэффициенты матрицы [A] рассчитываются с помощью следующих аналитических зависимостей [8] (Рис. 2):

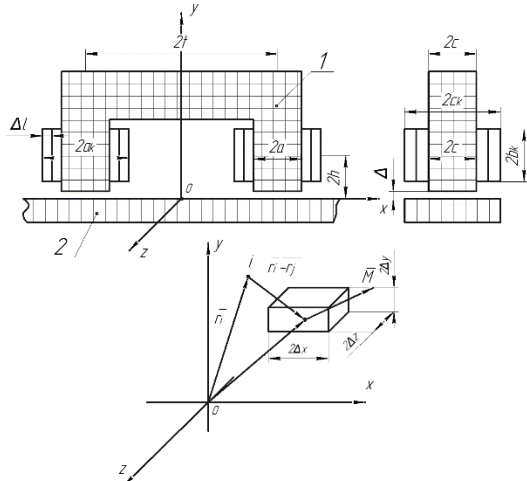


Рис. 2. Геометрическая модель намагничивающей системы:  
1- электромагнит; 2 – ферромагнитный носитель

$$a_{xx} = \frac{1}{4\pi} \operatorname{arctg} \frac{(z_j - z_i + z)(y_j - y_i + y)}{(x_j - x_i + x)R} \left| \begin{array}{c} \Delta x \\ -\Delta x \end{array} \right| \left| \begin{array}{c} \Delta y \\ -\Delta y \end{array} \right| \left| \begin{array}{c} \Delta z \\ -\Delta z \end{array} \right|;$$

$$a_{yy} = \frac{1}{4\pi} \operatorname{arctg} \frac{(z_j - z_i + z)(x_j - x_i + x)}{(y_j - y_i + y)R} \left| \begin{array}{c} \Delta x \\ -\Delta x \end{array} \right| \left| \begin{array}{c} \Delta y \\ -\Delta y \end{array} \right| \left| \begin{array}{c} \Delta z \\ -\Delta z \end{array} \right|;$$

$$a_{zz} = \frac{1}{4\pi} \operatorname{arctg} \frac{(x_j - x_i + x)(y_j - y_i + y)}{(z_j - z_i + z)R} \left| \begin{array}{c} \Delta x \\ -\Delta x \end{array} \right| \left| \begin{array}{c} \Delta y \\ -\Delta y \end{array} \right| \left| \begin{array}{c} \Delta z \\ -\Delta z \end{array} \right|; \quad (4)$$

$$a_{xy} = a_{yx} = \frac{1}{8\pi} \ln \left| \frac{z_j - z_i + z + R}{z_j - z_i + z - R} \right| \left| \begin{array}{c} \Delta x \\ -\Delta x \end{array} \right| \left| \begin{array}{c} \Delta y \\ -\Delta y \end{array} \right| \left| \begin{array}{c} \Delta z \\ -\Delta z \end{array} \right|;$$

$$a_{xz} = a_{zx} = \frac{1}{8\pi} \ln \left| \frac{y_j - y_i + y + R}{y_j - y_i + y - R} \right| \left| \begin{array}{c} \Delta x \\ -\Delta x \end{array} \right| \left| \begin{array}{c} \Delta y \\ -\Delta y \end{array} \right| \left| \begin{array}{c} \Delta z \\ -\Delta z \end{array} \right|;$$

$$a_{yz} = a_{zy} = \frac{1}{8\pi} \ln \left| \frac{x_j - x_i + x + R}{x_j - x_i + x - R} \right| \left| \begin{array}{c} \Delta x \\ -\Delta x \end{array} \right| \left| \begin{array}{c} \Delta y \\ -\Delta y \end{array} \right| \left| \begin{array}{c} \Delta z \\ -\Delta z \end{array} \right|;$$

$$R = \sqrt{(x_j - x_i + x)^2 + (y_j - y_i + y)^2 + (z_j - z_i + z)^2},$$

здесь  $2\Delta x, 2\Delta y, 2\Delta z$  – размеры элементарного объема.

В системы уравнений (2) входят функции  $M(H)$ , которые в первом квадранте петли гистерезиса аппроксимируются следующей зависимостью [9]:

$$M(H) = \chi_n \frac{H \cdot H}{H^2 + H_c^2} + \frac{M_s}{\pi} \frac{H^2}{H^2 + kH_c^2} \times \left( \operatorname{arctg} \frac{H + H}{H_0} - \operatorname{arctg} \frac{H - H}{H_0} \right), \quad (4, a)$$

$$\text{где } H_0 = \frac{H_c}{\operatorname{tg}\left(\frac{r}{M_s} \cdot \frac{\pi}{2}\right)}; k = \frac{M_s \operatorname{arctg}(2H_c / H_0)}{\pi M_c - \chi_n H_c / 2}$$

$\chi_n$  – начальная магнитная восприимчивость ферромагнетика;

$M_s$  – намагниченность насыщения;

$M_r$  – остаточная намагниченность по предельной петле гистерезиса;

$M_c$  – намагниченность, соответствующая напряженности коэрцитивной силы  $H_c$ ;

$H$  – текущее значение напряженности.

Во втором квадранте (спинка петли гистерезиса)

$$M(H) = \frac{M_s}{\pi} \left( \operatorname{arctg} \frac{H - H}{H_0} - \operatorname{arctg} \frac{H}{H_0} \right) + 2 \frac{M_s}{\pi} \left( 1 - \frac{1}{\pi} \left( \operatorname{arctg} \frac{H - H}{H_0} - \operatorname{arctg} \frac{H}{H_0} \right) \right) \cdot \operatorname{arctg} \frac{H + H}{H_0}. \quad (4, б)$$

На рис. 2 показана в упрощенном виде геометрическая модель магнитной системы намагничивающего устройства.

Поле катушек с током аппроксимируется полем слоев с током [10], количество слоев тока рассчитывается по формуле:

$$F = \frac{10\Delta l}{a + c + a_k + c_k}. \quad (4, в)$$

Вектор напряженности магнитного поля, создаваемого катушкой с током, представляется в виде:

$$\overline{H}_{cm} = \frac{1}{4\pi} \sum_{i=1}^F \delta_i \overline{\alpha}_i, \quad (5)$$

где  $\delta_i$  – поверхностная плотность тока в слое катушки;

$\overline{\alpha}_i$  – функция, зависящая от геометрических параметров катушки и места расположения точки наблюдения  $i$ .

Плотность тока рассчитывается по формуле:

$$\delta_i = \frac{IW}{2b_k F},$$

где  $I$  – ток в катушке;

$W$  – число витков в катушке.

Элемент площади слоя тока, согласно закону Био-Савара, создает напряженность, равную:

$$d\bar{H} = \frac{\bar{\delta} \times \bar{R}_{PQ}}{4\pi R_{PQ}^3} dS,$$

здесь  $\bar{R}_{PQ}$  – вектор, проведенный из точки источника  $P$  в точку наблюдения  $Q$ ;  
 $dS$  – элементарная площадка.

Векторная величина  $\bar{\alpha}_i$  рассчитывается по следующей формуле:

$$\begin{aligned} \bar{\alpha}_i = & \bar{i}_y \int_{-a_i}^{a_i} \int_{-c_i}^{c_i} \frac{(z' - c_k) dz' dy'}{\left((x')^2 + (y')^2 + (z' - c_k)^2\right)^{\frac{3}{2}}} - \bar{i}_y \int_{-a_i}^{a_i} \int_{-c_i}^{c_i} \frac{(z' + c_k) dx' dy'}{\left((x')^2 + (y')^2 + (z' + c_k)^2\right)^{\frac{3}{2}}} - \\ & - \bar{i}_z \int_{-a_i}^{a_i} \int_{-c_i}^{c_i} \frac{y' dx' dy'}{\left((x' - a_k)^2 + (y')^2 + (z')^2\right)^{\frac{3}{2}}} + \bar{i}_z \int_{-a_i}^{a_i} \int_{-c_i}^{c_i} \frac{y' dx' dy'}{\left((x')^2 + (y')^2 + (z' - c_k)^2\right)^{\frac{3}{2}}} + \\ & + \bar{i}_x \int_{-a_i}^{a_i} \int_{-c_i}^{c_i} \frac{x' dy' dz'}{\left((x' - a_k)^2 + (y')^2 + (z')^2\right)^{\frac{3}{2}}} - \bar{i}_x \int_{-a_i}^{a_i} \int_{-c_i}^{c_i} \frac{x' dy' dz'}{\left((x' + a_k)^2 + (y')^2 + (z')^2\right)^{\frac{3}{2}}} - \\ & - \bar{i}_x \int_{-a_i}^{a_i} \int_{-c_i}^{c_i} \frac{y' dy' dz'}{\left((x' - a_k)^2 + (y')^2 + (z')^2\right)^{\frac{3}{2}}} + \bar{i}_x \int_{-a_i}^{a_i} \int_{-c_i}^{c_i} \frac{y' dy' dz'}{\left((x' - a_k)^2 + (y')^2 + (z')^2\right)^{\frac{3}{2}}} \end{aligned} \quad (6)$$

В формулах обозначено  $z' = z$ ;  $x' = x \pm t$ ;  
 $y' = y - h$ , для правой катушки  $x' = x - t$ , для левой  
 $x' = x + t$  (Рис.2).

Решение интегрального уравнения (1) производится в двух областях, которые отличаются магнитными характеристиками металла. Одна область представляет собой П-образный сердечник электромагнита, вторая – намагничиваемый участок носителя, в частном случае полюса ферромагнитного материала. Поэтому систему алгебраических уравнений (2) следует переписать так:

$$\bar{H}_i = -\frac{1}{4\pi} \left( \sum_{j=1}^{N_1} \sum_{k=1}^6 (\bar{M}_i \cdot \bar{i}_n) \int_S \frac{\bar{R}_{jk}}{R_{jk}^3} dS_k + \sum_{j=1}^{N_2} \sum_{k=1}^6 \int \frac{\bar{R}_{jk}}{R_{jk}^3} dS_k \right) + \bar{H}_{cm_i}, \quad (7)$$

здесь  $N_1$  – число элементарных объемов в носителе;  
 $N_2$  – число элементарных объемов в сердечнике электромагнита.

Алгоритм решения (7) сводится к следующему. В начале расчета задается начальное знание вектора намагниченности в каждом элементарном объеме. Система уравнений (7) решается итерационным способом. На первом цикле итерации полагается, что равно  $\bar{M}_i = 0$ .

На каждом последующем цикле итерации намагниченность  $\bar{M}_i^{k+1}$  в каждом элементарном объеме определяется намагниченностью  $\bar{M}_i^k$  предыдущего цикла. По значениям модуля вектора намагниченности с помощью (4, а) находится модуль напряженности магнитного поля  $H_{Bi}$ . Из условия коллинеарности векторов  $\bar{M}$  и  $\bar{H}$

определяется составляющие вектора  $\bar{H}_{Bi}$  по следующим формулам:

$$\begin{aligned} \bar{H}_{Bix} = H_{Bi} (M) \frac{M_{ix}}{M_i}; \bar{H}_{Biy} = H_{Bi} (M) \frac{M_{iy}}{M_i}; \\ \bar{H}_{Biz} = H_{Bi} (M) \frac{M_{iz}}{M_i}. \end{aligned} \quad (8)$$

Циклы итерации выполняются по следующему алгоритму:

$$\begin{aligned} M_{ix}^{k+1} &= M_{ix}^k + \alpha (H_{ix}^k - H_{Bix}^k); \\ M_{iy}^{k+1} &= M_{iy}^k + \alpha (H_{iy}^k - H_{Biy}^k); \\ M_{iz}^{k+1} &= M_{iz}^k + \alpha (H_{iz}^k - H_{Biz}^k). \end{aligned} \quad (9)$$

Коэффициент  $\alpha = 0,8 - 2,5$  устанавливается эмпирическим путем. Очевидно, что в каждом ЭО вектор напряженности размагничивающего поля будет равен

$$\bar{H}_{Pi} = \bar{H}_{cm_i} - \bar{H}_i. \quad (10)$$

Во втором квадранте петли гистерезиса намагниченность определяется путем подстановки величин:

$$H_{ix} = -N_x M_{ix}; H_{iy} = -N_y M_{iy}; H_{iz} = -N_z M_{iz}, \quad (11)$$

где  $N_x, N_y, N_z$  – составляющие вектора коэффициента размагничивания в формуле (4, б), в результате чего получилось три уравнения, решениями которых будут значения  $M_{ix}, M_{iy}, M_{iz}$ .

Область решения интегрального уравнения (1) ограничивается путем сравнения значений нормальных составляющих вектора  $\bar{M}$  на двух общих гранях соседних ЭО. Граница области проводится там, где относительная разница этих значений не превышает заданной малой величины.

Для упрощения расчета вектора намагниченности можно применить следующий метод. Метод упрощения математической модели заключается в том, что отбрасывается магнитопровод электромагнита, а его намагничивающее действие учитывается введением поверхностных источников на разделяющей плоскости: простого слоя магнитных зарядов.

На первом этапе расчета, который производится методом магнитных цепей, определяется магнитный поток в магнитопроводе электромагнита и нормальная составляющая намагниченности на плоскостях его торцов  $M_n$ .

Напряженность магнитного поля в области ферромагнитного носителя рассчитывается по формуле (6):

$$\vec{H} = \frac{1}{4\pi} \int_S \frac{M_n \vec{1}_k}{R^2} dS. \quad (12)$$

Интегрирование производится по площади полюсов электромагнита рис. 3

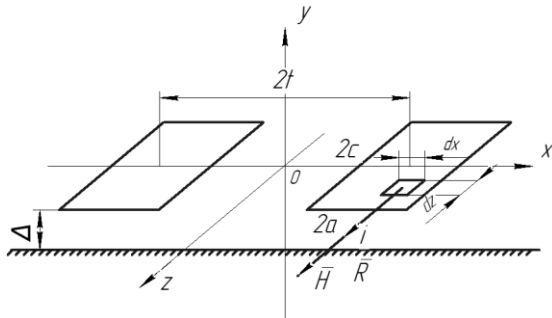


Рис. 3. Аппроксимация магнитного поля электромагнита полем намагниченных плоскостей полюсов

Составляющие вектора напряженности магнитного поля в области ферромагнитной среды будут равны:

$$\begin{aligned} H_x &= \frac{M_n}{4\pi} \left[ \int_{-c}^c \int_{-a}^a \frac{(x_i - x_j - t) dz_j dx_j}{\left[ (z_i - z_j)^2 + (x_i - x_j - t)^2 + (y_i - d)^2 \right]^{\frac{3}{2}}} - \right. \\ &\quad \left. - \int_{-c}^c \int_{-a}^a \frac{(x_i - x_j + t) dz_j dx_j}{\left[ (z_i - z_j)^2 + (x_i - x_j + t)^2 + (y_i - d)^2 \right]^{\frac{3}{2}}} \right]; \\ H_y &= \frac{M_n}{4\pi} \left[ \int_{-c}^c \int_{-a}^a \frac{(y_i - d) dz_j dx_j}{\left[ (z_i - z_j)^2 + (x_i - x_j - t)^2 + (y_i - d)^2 \right]^{\frac{3}{2}}} - \right. \\ &\quad \left. - \int_{-c}^c \int_{-a}^a \frac{(y_i - d) dz_j dx_j}{\left[ (z_i - z_j)^2 + (x_i - x_j + t)^2 + (y_i - d)^2 \right]^{\frac{3}{2}}} \right]; \\ H_z &= \frac{M_n}{4\pi} \left[ \int_{-c}^c \int_{-a}^a \frac{(z_i - z_j) dz_j dx_j}{\left[ (z_i - z_j)^2 + (x_i - x_j - t)^2 + (y_i - d)^2 \right]^{\frac{3}{2}}} - \right. \\ &\quad \left. - \int_{-c}^c \int_{-a}^a \frac{(z_i - z_j) dz_j dx_j}{\left[ (z_i - z_j)^2 + (x_i - x_j + t)^2 + (y_i - d)^2 \right]^{\frac{3}{2}}} \right]; \end{aligned} \quad (13)$$

Результатом решения системы являются значения вектора  $\vec{M}_i$  в каждом ЭО, что дает возможность с помощью формулы (2), в которой  $\vec{H}_{cm} = 0$ , рассчитать поле рассеяния магнитной метки.

**Результаты исследований.**

**Результаты численного и натурального эксперимента.** Целью экспериментов было определение корректности разработанной методики расчета поля рассеяния и получения данных, необходимых при разработке магнитных датчиков перемещения упрочненной конструкции.

Реализуется эта цель путем численного расчета поля намагниченности в объеме носителя П-образным электромагнитом с последующим определением составляющих вектора напряженности поля рассеяния.

Электромагнит имеет следующие геометрические параметры:  $2a=0,03$  м;  $2c = 0,03$  м;  $2b = 0,05$  м;  $2t = 0,06$  м;  $S = 9 \cdot 10^{-4}$  м<sup>2</sup>;  $2a_k=0,04$  м;  $2b_k = 0,04$  м;  $2c_k = 0,04$  м;  $W = 200$ ;  $I = 20$  А.

Материал магнитопровода электромагнита – сталь д 318 со следующими магнитными параметрами:  $\chi_n = 15$ ;  $M_s = 1,3 \cdot 10^6$  А/м;

$M_r = 0,35 \cdot 10^6$  А/м;  $H_c = 42$  А/м;  $M_c = 0,4 \cdot 10^6$  А/м.

Носитель представляет собой брусок с размерами  $0,01 \times 0,05 \times 0,04$  м, изготовленный из стали Ст45 (специализированная сталь А1), которая имела следующие магнитные параметры:  $\chi_n = 15$ ;

$M_s = 1,12 \cdot 10^6$  А/м;  $M_r = 0,76 \cdot 10^6$  А/м;  $H_c = 4,5 \cdot 10^3$

А/м;  $M_c = 0,35 \cdot 10^6$  А/м. Воздушный зазор между полюсами электромагнита и носителем составляет  $\Delta=1$  и  $1,6$  мм.

Иными параметрами поля рассеяния метки являются горизонтальная и вертикальная составляющие напряженности поля, их зависимость от воздушного зазора  $\Delta$  между полюсами электромагнита и плоскостью носителя. На рис. 4 представлены зависимости горизонтальной и вертикальной составляющих векторов  $\vec{H}$  от координаты  $x$ . Результаты расчета позволяют разработать требования к феррозондовым измерительным преобразователям, регистрирующим магнитное поле рассеяния метки при различных параметрах электромагнита и носителя. Установлено, что при аппроксимации поля электромагнита полем полюсов расхождение результатов эксперимента не превышает 11%.

При натуральном эксперименте использовался электромагнит и носитель, параметры которого соответствовали параметрам численного эксперимента. Электромагнит устанавливали на поверхность носителя, производилось намагничивание метки, после чего электромагнит удалялся, и производилось измерение параметров магнитного поля рассеяния метки. Измерение проводилось феррозондом со стержневыми сердечниками, ориентация которого менялась в пространстве на  $90^\circ$ , что позволило измерять горизонтальную и вертикальную составляющие вектора напряженности магнитного поля метки.

Феррозонд перемещался над поверхностью ферромагнитного носителя на высоте 8 мм, измерения выполнялись с шагом 10 мм. Погрешность натурального эксперимента оценивалась с погрешностью 6,5 %.

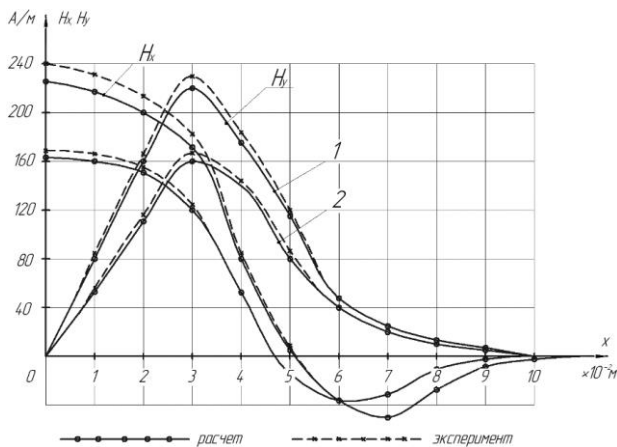


Рис. 4. Зависимость величины  $H_x$  и  $H_y$  от координат  $x$ :  
1 –  $\Delta = 0,001$  м; 2 –  $\Delta = 0,0016$  м

Графики, приведенные на рис. 4, иллюстрируют хорошее совпадение расчетных и экспериментальных данных, расхождение этих данных не превышает 8,4%.

#### Выводы

1. Наиболее перспективным для расчета магнитных систем магнитных датчиков, использующих ферромагнитный носитель (стержень, рельс, стальной канат, проволоку), является метод интегральных уравнений.

2. Упрощение математической модели поля вектора намагниченности в нелинейной ферромагнитной среде можно получить с помощью введения в модель векторного размагничивающего фактора.

3. Магнитное поле электромагнита можно аппроксимировать полем намагниченных полюсов электромагнита.

#### Литература

1. Бухгольц В.П. Путьевые датчики автоматического на рельсовом транспорте / В.П. Бухгольц // М. Энергия, 1965. – 176 с.
2. Конюхов Н.Е. Электромагнитные датчики механических величин / Н.Е. Конюхов, Ф.М. Медников, М.Л. Нечаевский // М. Машиностроение, 1987. – 256 с.
3. Локоткош Б.Н. Магнитная разметка пути / Б.Н. Локоткош, В.В. Яковенко, Ю.Г. Вайлов // Локомотивостроение №2. 1989. – с. 17 – 24.
4. Миц В.Н. Экспериментальные исследования продольной магнитной записи на стальных канатах / В.Н. Миц // М. Вопросы горной электротехники, том 16. Недра, 1969 с. 58 – 63.
5. Белый В.Д. Индикатор положения сосудов для подвесных установок со шкивом трения / В.Д. Белый, В.М. Миц // М. Вопросы горной электромеханики, том 16, Недра. 1962. – с. 37 – 44.

6. Шимони К. Теоретическая электротехника / К. Шимони // М. Мир. 1984. – 767 с.

7. Курбатов П.А. Метод ограниченных областей решения задачи нелинейной магнитостатики / П.А. Курбатов // Сб. науч. тр. «Электромагнитные поля и системы». – М., 1988. – 118с.

8. Ливцов Ю.В. Магнитный метод контроля качества упроченного верхнего слоя металла рельсового транспорта / Ю.В. Ливцов, Н.А. Березкина, В.В. Яковенко // Вестник РГУГТС, Ростов. №17. 2017. – с. 95 – 102.

9. Мельчуй М.А. Формулы для описания нелинейных свойств ферромагнетиков / М.А. Мельчуй // Дефектоскопия. – 1987. - №8. – с. 3 – 9.

10. Математические модели магнитного поля намагниченного поверхностного слоя металла: дис. канд. техн. наук / А.П. Чурносков. – Луганск. 2012.

#### References

1. Buchholz V.P. Track sensors automatic on rail vehicles / V.P. Buchholz // M. Energia, 1965. - 176 p.
2. Konyukhov N.E. Electromagnetic sensors of mechanical quantities / N.E. Konyukhov, F.M. Mednikov, M.L. Nechaevsky // M. Machine building, 1987. - 256 p.
3. Lokotsh BN Magnetic marking of the way / B.N. Lokotsh, V.V. Yakovenko, Yu.G. Vailov // Locomotive building №2. 1989. - p. 17 - 24.
4. Mitz V.N. Experimental studies of longitudinal magnetic recording on steel ropes / V.N. Mitz // M. Issues of mining electrical engineering, volume 16. Nedra, 1969 p. 58 - 63.
5. White V.D. Vessel position indicator for outboard installations with a friction pulley / V.D. White, V.M. Mits // M. Issues of mining electromechanics, volume 16, Nedra. 1962. - p. 37-44.
6. Shimoni K. Theoretical electrical engineering / K. Shimoni // M. Mir. 1984. - 767 p.
7. Kurbatov P.A. A method of bounded domains for solving the problem of nonlinear magnetostatics. Kurbatov // Sb. sci. tr. "Electromagnetic fields and systems". - M., 1988. - 118s.
8. Livtsov Yu.V. Magnetic method of quality control of the hardened upper layer of metal of rail transport / Yu.V. Livtsov, N.A. Berezkina, V.V. Yakovenko // Vestnik RSUGTS, Rostov. №17. 2017. - p. 95 - 102.
9. Melchui M.A. Formulas for describing the nonlinear properties of ferromagnets / M.A. MELCHUY // Defectoscopy. - 1987. - № 8. - from. 3 - 9.
10. Mathematical models of the magnetic field of a magnetized surface layer of metal: dis. Cand. tech. Sciences / A.P. Churnosov. - Lugansk. 2012.

**Yakovenko V.V., Tarasenko O.V., Kreselyuk Y.V., Ivzhenko A.A.**

#### TO CALCULATION OF THE MAGNETIC SENSOR OF MOVEMENT OF THE SIMPLE STRUCTURE

The calculation of the magnetic system of displacement sensors consisting of an electromagnet and a ferromagnetic extended part (rail, steel rope, rod, wire, etc.) is considered. With the help of an electromagnet, the portion of the carrier, the magnetic label, is magnetized. The purpose of the calculation is to determine the parameters of the magnetic field of the label scattering. The mathematical model of the magnetic field of the label is a nonlinear vector equation. The integral equation is differentiated to a system of algebraic equations for solving by a numerical method. The magnetic characteristics of the core material of the electromagnet and the carrier are specified analytically. The results of numerical and natural experiments are presented.

**Key words:** *Electromagnet, ferromagnetic carrier, ferro-gap, integral equation, algorithm, label, sensor, experiment.*

**Яковенко Валерий Владимирович**, проф., д. т. н., заведующий кафедрой «Электромеханика», Луганский национальный университет им. В. Даля.

**E-mail:** kaf-el-mex@yandex.ru.

**Тарасенко Олег Владимирович**, доц., к. т. н., декан факультета «Электротехнических систем», Луганский национальный университет им. В. Даля,

**E-mail:** ovtar1965@yandex.ua.

**Кресельюк Юрий Владимирович**, аспирант, Луганский национальный университет им. В. Даля.

**E-mail:** yurakreselyuk@mail.ru.

**Ивженко Анастасия Александровна**, аспирант, Луганский национальный университет им. В. Даля.

**E-mail:** stasya.ivgenko@mail.ru.

**Yakovenko Valery Vladimirovich**, Prof., Doctor of Technical Science, Head of the Electromechanics Department, Lugansk National University V. Dahl.

**E-mail:** kaf-el-mex@yandex.ru.

**Tarasenko Oleg Vladimirovich**, Associate Professor, Candidate of Technical Science, Dean of the Faculty of Electrotechnical Systems, Lugansk National University. V. Dahl.

**E-mail:** ovtar1965@yandex.ua.

**Kreselyuk Yuri Vladimirovich**, graduate student, Lugansk National University. V. Dahl.

**E-mail:** yurakreselyuk@mail.ru.

**Ivzhenko Anastasia Alexandrovna**, post-graduate student, Lugansk National University. V. Dahl.

**E-mail:** stasya.ivgenko@mail.ru.

**Рецензент: Половинка Д.В.** доц., к.т.н., заведующий кафедрой электротехнические системы электропотребления ЛНУ им. В. Даля

*Статья подана 5.12.2017*

УДК 621. 22. 011

## ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ТЕЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОЛИТА ПРИ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ

Ямкова М.А., Бойко Н.З., Шадрин С.В.

## HYDRODYNAMIC CALCULATION OF ELECTROLYTE CURRENT DURING ELECTROCHEMICAL TREATMENT

Yamkovaya M.A., Boyko N.Z., Shadrin S.V.

*Теоретически определены поля скоростей и концентраций электролита в межэлектродном промежутке электротехнического комплекса для размерной электрохимической обработки, что позволило найти значение предельной плотности тока в электролите и рабочий ток в нем и объяснить свойство саморегулирования межэлектродного промежутка и возникновения режима короткого замыкания. Поле скоростей найдено как точное решение уравнения Навье-Стокса для течения у критической точки. Поле концентрации определено как решение уравнения диффузии с учетом распределения скоростей электролита.*

**Ключевые слова:** гидродинамический расчет, электрохимическая обработка, межэлектродный промежуток, поле скоростей, нелинейное сопротивление, электролит.

**Введение.** Размерная электрохимическая обработка очень удобна для обработки металлов, особенно при необходимости получения сложнопрофильных отверстий значительной длины, высверливание и фрезерование которых затруднено.

**Постановка проблемы и ее связь с важными научными и практическими задачами.** Такая задача возникает довольно часто при эксплуатации асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором, чрезвычайно распространенных в промышленности благодаря своей простоте, дешевизне и надежности. Однако даже у этих надежных машин возникают различные неисправности, одной из которых является обрыв стержня в короткозамкнутой обмотке ротора. Это довольно опасная неисправность, т.к. обрыв даже одного-двух стержней приводит к выходу из строя других стержней и отказу двигателя в работе.

Короткозамкнутая обмотка (т.н. «белычя клетка») представляет собой алюминиевые стержни сложной формы (рис. 1), залитые в пазы в электротехнической стали. Объединяются они кольцами из этого же алюминия, вылитыми с ними за один цикл литья.

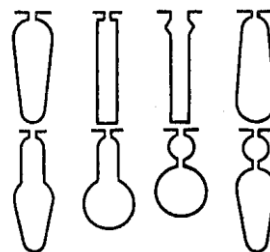


Рис. 1. Формы пазов в роторе

После определения дефектного стержня его необходимо удалить. Теоретически это возможно при выплавлении алюминиевого стержня при температуре 700 °С или при химическом травлении щелочным раствором, а также при высверливании и фрезеровании.

Но все эти способы неудобны на практике. Поэтому в ДонГТУ было предложено использовать для удаления дефектного стержня электрохимическую обработку (ЭХО) [1]. К ее достоинствам относится возможность получения длинных и узких отверстий сложной формы, высокий класс точности, отсутствие остаточных напряжений и т.д.

Но при всех преимуществах электрохимической обработки она обладает и определенными недостатками, наиболее существенным из которых является высокое энергопотребление. Поэтому при ЭХО необходимо не только повышать точность обработки, но и снижать энергозатраты.

Для этого необходимо разработать адекватную модель силовой цепи электротехнического комплекса для электрохимической обработки.

**Анализ исследований и публикаций.** Существующие математические модели межэлектродного промежутка получены при довольно сильных допущениях и не учитывают влияния некоторых существенных факторов.

Очень важным параметром процесса ЭХО является плотность тока. Для повышения производительности процесса электрохимической обработки желательно поддерживать плотность рабочего тока на предельном уровне. Интуитивно понятно, что предельное значение плотности тока должно зависеть от электрических параметров (напряженности электрического поля), параметров электролита (его вязкости и расхода, а также начальной концентрации электролита) и геометрических параметров (размеров катод-инструмента и межэлектродного промежутка). Но, к сожалению, в существующей литературе отсутствуют количественные зависимости между этими величинами.

К тому же в существующих моделях силовой цепи делаются, на наш взгляд, весьма сильные допущения о постоянстве электропроводности электролита и его сопротивления независимо от скорости электролита и рабочего тока; не учитывается режим течения электролита и т.д. [3].

**Цель статьи.** Целью работы является создание математической модели силовой цепи комплекса для электрохимической обработки с учетом гидродинамического режима течения электролита для проектирования системы управления комплексом, обеспечивающей высокую производительность, точность и низкое энергопотребление.

**Изложение основных материалов.** В силовую цепь электротехнического комплекса для электрохимической обработки входят источник питания, соединительные провода, трансформатор, столбик электролита в катод-инструменте, межэлектродный промежуток и анод.

В то время как структурные схемы трансформатора и источники питания известны, схема замещения межэлектродного промежутка требует изучения и улучшения. В существующей литературе приведены упрощенные схемы, которые не учитывают целый ряд весьма существенных факторов, одним из главных является течение электролита в межэлектродном промежутке [4].

Наиболее существенным недостатком всех известных нам математических моделей, является, на наш взгляд, весьма сильное предположение, что электропроводность электролита и предельный ток считают постоянными независимо от скорости электролита и величины рабочего тока.

Для более точного определения зависимости предельного тока от гидравлических, геометрических и электрических параметров в [2] предложен следующий подход: сначала нужно найти поле скоростей электролита в межэлектродном промежутке с решения уравнения Навье-Стокса, затем с использованием найденного распределения скорости решить уравнения диффузии для получения поля концентрации электролита согласно

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \vec{v} \text{grad} C = D \nabla^2 C \quad (1)$$

где  $C$  - концентрация электролита,  $\vec{v}$  - скорость электролита,  $D$  - коэффициент диффузии,  $t$  - время.

Затем определена предельная плотность тока в межэлектродном промежутке  $j_{пред}$ , согласно выражению

$$j_{пред} = D \text{grad} C + \frac{DmF\vec{E}}{RT} C \quad (2)$$

где  $m$  - валентность ионов электролита,  $R$  - газовая постоянная,  $T$  - температура электролита по Кельвину,  $F$  - постоянная Фарадея,  $\vec{E}$  - напряженность электрического поля в межэлектродном зазоре.

По найденным значениям плотности тока при заданной концентрации электролита и напряженности электрического поля определяются составляющие полного эффективного сопротивления межэлектродного зазора:

$$Z_0 = \frac{RT}{F^2 D_1 D_2 m_1 m_2} \quad (3)$$

$$Z_1 = \frac{RT(m_1 + m_2)}{F m_1 m_2 (i_{пред} - i)} \quad (4)$$

$$Z_2 = \frac{2RT}{Fi} \quad (5)$$

где  $i_{пред}$  - предельный ток,  $i$  - рабочий ток.

При решении этой задачи нами были приняты следующие допущения: электрод считался круглым, а электролит - несжимаемой ньютоновской жидкостью.

Для определения поля скоростей электролита в межэлектродном зазоре рассмотрим пространственное осесимметричное течение вязкой жидкости вблизи критической точки. При такой течения жидкость набегаёт на стену, перпендикулярную направлению движения, и оттекает от критической точки вдоль этой стенки по радиусам (рис.2). Для этого случая существует точное решение уравнения Навье-Стокса [5]. Задача решается в цилиндрической системе координат  $r, \phi, z$ . Плоскость  $z = 0$  совмещена со стенкой, а ось  $z$  направлена противоположно набегающему течению.

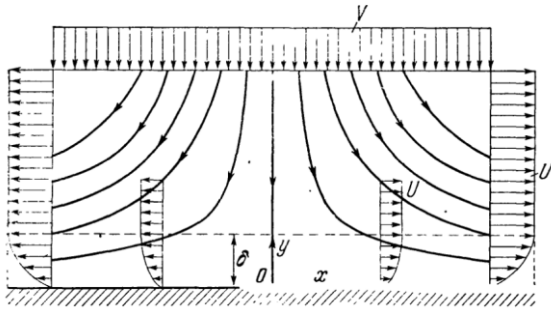


Рис. 2. Течение в окрестности критической точки

Обозначим  $U$  и  $V$  радиальную и осевую скорости при течении идеальной жидкости, и  $u(r, z)$  и  $v(r, z)$  - соответствующие скорости для вязкого течения. Вследствие осевой симметрии  $v_\phi = 0$  и  $\partial/\partial\phi = 0$ . Поэтому уравнение Навье-Стокса и уравнение неразрывности имеют следующий вид:

$$v \frac{\partial v}{\partial r} + w \frac{\partial v}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial r} + \gamma \left( \frac{\partial^2 v}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial v}{\partial r} - \frac{v}{r^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right),$$

$$v \frac{\partial w}{\partial r} + w \frac{\partial w}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + \gamma \left( \frac{\partial^2 w}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial w}{\partial r} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right),$$

$$\frac{\partial v}{\partial r} + \frac{v}{r} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0,$$

где  $p$  - давление электролита,  $\rho$  - его плотность,  $\gamma$  - кинематическая вязкость.

Граничные условия:

$$\begin{aligned} v &= 0, \quad w = 0 \quad \text{при} \quad z = 0, \\ v &= V \quad \text{при} \quad z = \infty. \end{aligned}$$

Для решения уравнения Навье-Стокса используется аффинное преобразование. В конечном счете получено выражение для осевой скорости электролита

$$w = 2 \left( \frac{Q}{2\pi r_k^2 d} \right)^{\frac{b+1}{2}} \gamma^{\frac{b-1}{2}} g z^b e^{\sqrt{\frac{Q}{2\pi r_k^2 d T}} z} \quad (6).$$

Радиальная скорость электролита

$$v = \frac{Q}{2\pi r_k^2 d} r \left( 1 - e^{-\sqrt{\frac{Q}{\pi r_k d T}} z} \right),$$

где  $T = 0.7$ ,  $Q$  - расход электролит,  $r_k$  - радиус катод-инструмента,  $d$  - межэлектродный зазор,

$$a = \frac{Q}{2\pi r_k d}, \quad g = 0.2358, \quad b = 1.807, \quad G = 0.0466.$$

Выражение для осевой скорости электролита используется для нахождения распределения его концентрации, а по величине радиальной скорости проверяется предположение о том, что диффузный пограничный слой достаточно мал по сравнению с поверхностью анода.

Распределение концентрации электролита определяется решением уравнения диффузии (5).

Запишем выражение для предельной плотности тока, учитывая распределение концентрации электролита, согласно (2):

$$j_{np\epsilon 0} = Da_1 e^{\frac{1}{D} \int_0^\infty w(z) dz} + \frac{DmFE}{RT} a_1 e^{\frac{1}{D} \int_0^\infty w(z) dz} z$$

в этом выражении  $w(z)$  определяется по выражению (6).

В нашем случае предельный ток в неподвижном электролите равен 0.44 А, а для подвижного электролита предельный ток равен 10.58 А (на практике ток был равен 9-10 А).

По найденным значениям предельного тока найдем полное эффективное сопротивление межэлектродного промежутка, состоящее из омического сопротивления (3), диффузного (4) и миграционного (5) сопротивлений.

Приведем зависимость полного сопротивления межэлектродного промежутка от рабочего тока (рис. 3) (характеристика рассчитана в относительных единицах). Как видно характеристика полного сопротивления имеет U-образный вид, что объясняется преобладанием на различных стадиях электрохимической реакции диффузионного или миграционного перенапряжения и сопротивления соответственно. Наличие падающего участка на характеристике может привести к возникновению неустойчивости процесса обработки, то есть к колебаниям тока. Это объясняет частое возникновение режима короткого замыкания на практике.

Удельная емкость межэлектродного зазора равна 16-20 мкФ/см<sup>2</sup>.

Его эквивалентная индуктивность определяется в зависимости от типа источника питания по времени установления нестационарного электрохимического процесса. Впервые вопрос нестационарных явлений в гетерогенных процессах был подробно изучен А.Н. Соколовым, затем В. Левичем [4].



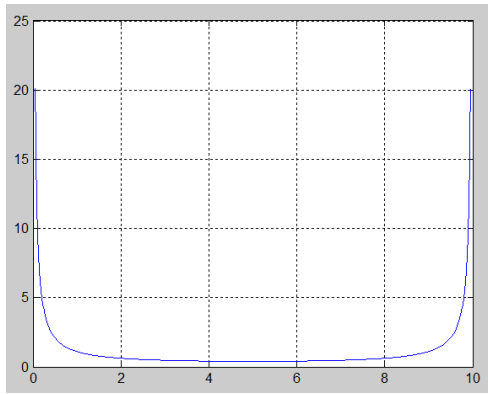


Рис. 3. Зависимость полного сопротивления межэлектродного зазора от рабочего тока в относительных единицах

При этом использовано допущение о постоянстве во времени скорости течения электролита. Будем считать, что переходный процесс заканчивается за 3 постоянные времени, тогда при питании от источника напряжения

$$T_u = \frac{I}{3} \sqrt[3]{\frac{\gamma}{\pi D \nu^3}}$$

А при питании от источника тока

$$T_u = \left( \frac{nF}{2j} \right)^2 \pi D C_0 .$$

Индуктивность  $L_{заз}$  определяется как постоянная времени, разделенная на  $R_{заз}$ . Надо помнить, что полное активное сопротивление межэлектродного промежутка  $R_{заз}$  является суммой омического, диффузионного и миграционного сопротивлений (7-9).

Таким образом, межэлектродный промежуток является форсирующе-колебательным звеном с передаточной функцией

$$W_{заз} = \frac{R_{заз} \left( \frac{L_{заз}}{R_{заз}} p + 1 \right)}{p^2 C_{заз} L_{заз} + p C_{заз} R_{заз} + 1} . \quad (7)$$

Наличие в передаточной функции межэлектродного зазора форсирующего звена придает ему определенные предупреждающие свойства, потому что в систему вводится кроме самой величины и ее производная, то есть тенденция к ее изменению. Это подтверждает адекватность математической модели межэлектродного промежутка, который, как

известно из практики [3], имеет свойство саморегулируемости.

Согласно приведенным выше зависимостям можно рассчитать параметры структурной схемы силовой цепи электротехнического комплекса для электрохимической обработки. По результатам подсчета, как и следовало ожидать, оказалось, что индуктивностью и емкостью соединительных проводов можно пренебречь, другие же величины обязательно должны быть учтены.

Тогда, после некоторых преобразований, можно получить передаточную функцию силового цепи электротехнического комплекса в следующем виде:

$$W = \frac{I}{R_E + R_{заз}} \frac{T_{заз} p + 1}{\frac{T_{заз} L_E}{R_E + R_{заз}} p^2 + T p + 1} , \quad (8)$$

где  $R_E = R_{ин} + R_{мп} + R_{ан} + R_{нр} + R_{см}$ ,  $L_E = L_{мп} + L_{ан}$ ,  $T = \frac{T_{заз} R_E + L_E + L_{заз}}{R_E + R_{заз}}$ ,  $T_{заз} = C_{заз} R_{заз}$ .

Таким образом силовая цепь описывается последовательным соединением нелинейных форсирующего и двух инерционных звеньев, так коэффициент демпфирования всегда (при рабочих значениях тока) больше единицы.

Необходимо учитывать, что постоянными можно считать только активные сопротивления источника питания, проводов и трансформатора (как и его индуктивность). Сопротивление же электролита, емкость столба электролита и индуктивность межэлектродного зазора и анода зависят от величины рабочего тока и являются нелинейными. Сопротивление анода изменяется при его растворении.

Таким образом, нами впервые получена структурная схема силового цепи электротехнического комплекса для электрохимической обработки, которая учитывает индуктивность и емкость межэлектродного промежутка, параметры столба электролита в катод-инструменте и их зависимости от рабочего тока, нелинейный характер которых, как несложно показать, может привести при питании комплекса от источника ЭДС к возникновению колебаний тока и прекращению процесса обработки (которое довольно часто и происходит на практике). Предложенная математическая модель позволяет объяснить это явление.

Из передаточной функции силового цепи (8) можно получить следующее выражение для рабочего тока (числовые коэффициенты получены на основе постоянных величин)

$$pI = \frac{0.87 I^2 + (3.59 - 0.87 I_{нред} - U)I + (U - 7.17)I_{нред}}{L(I_{нред} - I)}$$

Это дифференциальное уравнение не удастся представить в форме Коши. Однако оно имеет решение в неявной форме

$$\frac{(I^2 - 28.89I + 146.93)^{0.127} (2I - 44.59)^{0.072}}{(2I - 13.18)^{0.072}} = e^{-t} - 0.72$$

На рис. 4 это решение представлено графически.

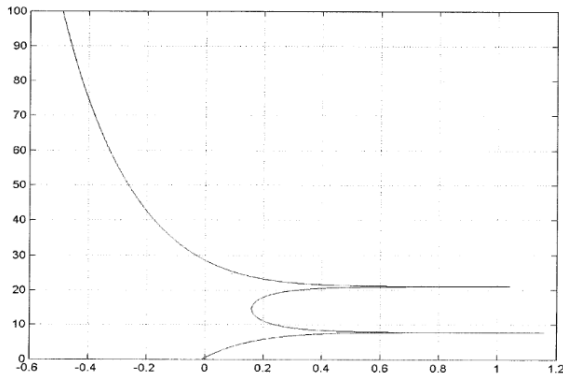


Рис. 4. Зависимость рабочего тока от времени

Как видно на рис.4 при некоторых значениях времени возможны два, три или четыре различных значения тока. На наш взгляд, наличие двух точек бифуркации и неоднозначность значений тока может привести к его колебаниям, причем если ток будет стремиться к значениям больше предельно допустимого (в нашем случае 10 А), возникнет короткое замыкание. Как известно, это явление неоднократно возникает на практике.

Такая неоднозначность решений возникает из-за нелинейной зависимости сопротивления межэлектродного зазора от тока. Неучет предыдущими исследованиями этой зависимости и неоднозначности (в известной нам литературе сопротивление электролита в межэлектродном промежутке вообще считается постоянным и независимым от силы тока) не позволял объяснить частые возникновения режима короткого замыкания и, соответственно, принять меры по его предотвращению.

На рис. 5 приведена зависимость тока от времени, полученная в предположении постоянства сопротивления. Как видно, она полностью повторяет нижнюю ветвь характеристики на рис.4, но не позволяет получить еще две ее ветви и предусмотреть возможность неустойчивости рабочего тока.

Таким образом, полученную математическую модель силовой цепи электротехнического комплекса для размерной электрохимической обработки можно признать адекватной, поскольку ее использование позволяет правильного теоретически рассчитать значение рабочего тока;

теоретически объяснить свойство саморегулируемости межэлектродного промежутка (наличием производной в законе регулирования); теоретически обосновать возможность возникновения режима короткого замыкания (за счет нелинейной U-образной зависимости полного сопротивления межэлектродного промежутка от рабочего тока, падающая ветвь которой может привести к неустойчивости процесса).

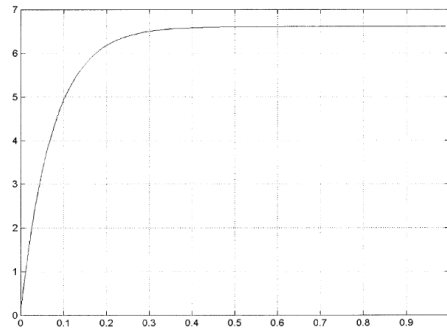


Рис. 5. Зависимость рабочего тока от времени при допущении постоянства сопротивления

**Выводы.** В статье осуществлено теоретическое обобщение и решение актуальной научно-технической задачи создания математической модели силовой цепи электротехнического комплекса для размерной электрохимической обработки.

Суть выполненных исследований заключается в теоретическом объяснении свойства саморегулируемости межэлектродного промежутка и возможности возникновения режима короткого замыкания, а также в теоретическом расчете рабочего тока комплекса в зависимости от его электрических, геометрических и гидравлических параметров.

Наиболее существенные научные и прикладные результаты, выводы и рекомендации заключаются в следующем:

1. Впервые предложены зависимости полного сопротивления межэлектродного зазора от гидравлических, электрических и геометрических параметров. Установлена U-образная зависимость сопротивления от рабочего тока, что приводит к его неустойчивости, то есть впервые теоретически объяснено частое возникновение режима короткого замыкания при электрохимической обработке.

2. Впервые приведены зависимости для учета нелинейного сопротивления столба электролита в катод-инструменте.

3. Впервые учтены индуктивности межэлектродного зазора и анода, что позволило создать более точную математическую модель комплекса.

4. Впервые предложена математическая модель силовой цепи электротехнического комплекса для

электрохимической обработки металлов и сплавов, которая позволяет

- правильно теоретически рассчитать значение рабочего тока;
- теоретически объяснить свойство саморегулируемости межэлектродного промежутка (наличием производной в законе регулирования).

#### Л и т е р а т у р а

1. Пат. 77041 Україна, МПК H02K 15/00, H02K 15/08. Спосіб відновлення литих короткозамкнених обмоток роторів / Шадрін С.В.; заявник і патентовласник Донбаський державний технічний університет. - № 77041; заявл. 29.06.2004; опубл. 16.10.2006, Бюл. № 10.
2. Шадрин С.В. Обоснование и выбор источника питания для комплекса электрохимической обработки металлов / Н.Н. Заблудский, С.В. Шадрин, М.А. Ямковая // Технічна електродинаміка. – 2004. - № 5. – С. 68-74.
3. Орлов В.Ф. Электрохимическое формообразование / В.Ф. Орлов, Б.И. Чугунов – М.: Машиностроение, 1990.
4. Левич В.Г. Физико-химическая гидродинамика / В.Г. Левич – М.: Изд-во Академии наук СССР, 1952.
5. Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя / Г.Шлихтинг – М.: Наука, 1974.

#### R e f e r e n c e s

1. Shadrin S.V., Pat. 77041 Ukraina, MPK N02K 15/00, N02K 15/08. Sposib vidnovlennja litih korotkozamknenih obmo-tok rotoriv Patent Ukrainy no № 77041, 16.10.2006, Bjul. № 10.
2. S.V. Shadrin, M.A. Jamkovaja, Obosnovanie i vybor istochnika pitaniija dlja kompleksa jelektrohimicheskoi obrabotki metallov, Tehnichna elektrodinamika, 2004, № 5, pp. 68-74.
3. V.F. Orlov, B.I. Chugunov. Jelektrohimicheskoe formoobrazovanie, M.: Mashinostroenie, 1990.
4. Levich V.G. Fiziko-himicheskaja gidrodinamika, M.: Izd-vo Akademii nauk SSSR, 1952.
5. Shlihting G. Teorija pograničnogo sloja, M.: Nauka, 1974.

**Yamkovaya M.A. Boyko N.Z., Shadrin S.V.**  
**HYDRODYNAMIC CALCULATION OF**  
**ELECTROLYTE CURRENT DURING**  
**ELECTROCHEMICAL TREATMENT**

*Hydrodynamic calculation of flow of the electrolyte in the interelectrode gap of electro-technical complex for the dimensional electrochemical machining Design/methodology/approach. The most significant scientific and applied results, conclusions and recommendations are as follows: for the first time invited to the dependence of the total resistance of the interelectrode gap from electrical, hydraulic and geometric parameters. Set the U-shaped dependence of the resistance of the working current, which leads to its instability, that is, for the first time theoretically explained by*

*the frequent appearance of the regime of a short circuit when electrochemical processing; for the first time considered the inductance of the interelectrode gap, which helped to create a more accurate mathematical model of the complex.*

*For the first time proposed the mathematical model of the power circuit of electro-technical complex for electrochemical treatment of metals and alloys, which allows you to: correct in theory to calculate the values of the operating current; theoretically explain the property of self-regulation interelectrode gap (the presence of the derivative in the law regulation).*

*Findings. The essence of the carried out researches is in the theoretical explanation of the properties of self-regulation interelectrode gap and the possibility of a regime of a short circuit, as well as in the theoretical calculation of the operating current of the complex depending on its electrical, geometric and hydraulic parameters.*

*Originality/value. The work was done independently with the use of exact solutions of equations of Navier-Stokes equations and the equations of diffusion.*

**Keywords:** hydrodynamic calculation, electrochemical machining, spark plug gap, nonlinear resistance, acid.

**Ямковая Мария Андреевна**, к.т.н., доц., доц. каф. АЭМС им. проф. Зеленова А.Б. ГОУ ВПО ЛНР «Донбасский государственный технический университет».  
**E-mail:** Fosse2006@mail.ru

**Yamkova Maria Andreevna**, Ph.D., Assoc., Assoc. cafe. АEMS them. prof. Zelenova A.B. GOU VPO LHR «Donbass State Technical University».  
**E-mail:** Fosse2006@mail.ru

**Бойко Николай Зельманович**, к.т.н., доц. каф. АУТП ГОУ ВПО ЛНР «Донбасский государственный технический университет».  
**E-mail:** boartfzl@mail.ru

**Boyko Nikolay Zelmanovich**, Ph.D., Assoc. cafe. АУТР GOU VPO LHR «Donbass State Technical University», e-mail boartfzl@mail.ru

**Шадрин Сергей Владимирович**, энергетик КП «Алчевское дорожно-эксплуатационное управление».  
**E-mail:** 0918167sh@gmail.com

**Shadrin Sergey Vladimirovich**, energetik KP "Alchevsky road and operational management".  
**E-mail:** 0918167sh@gmail.com

**Рецензент: Финкельштейн Зельман Лазаревич**, д.т.н., проф., проф. каф. Прикладной гидромеханики. ГОУ ВПО ЛНР «Донбасский государственный технический университет»

Статья подана 26. 11. 2017

УДК 004.9

## СКВОЗНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ В МАШИНОСТРОЕНИИ

Ясуник С.Н., Волков И.В.

## END-TO-END DESIGNING IN MECHANICAL ENGINEERING

Yasunik S.N., Volkov I.V.

При сквозном проектировании происходит переход от бумажной конструкторской и технологической документации к электронной модели производства, которая представляет собой совокупность всей информации об изделии от всех участников его проектирования и производства, т.е. с учетом всех этапов жизненного цикла изделия. С целью построения системы опережающего обучения студентов, обучающихся по направлению "Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств", структурированы дисциплины, необходимые для овладения профессиональными компетенциями в области сквозного проектирования.

**Ключевые слова:** машиностроение, изделие, жизненный цикл, электронная модель, сквозное проектирование.

Как известно, объектом машиностроительного производства является изделие. Каждое изделие имеет свой жизненный цикл, т.е. совокупность процессов, выполняемых от момента выявления потребностей общества в определенной продукции до момента удовлетворения этих потребностей и утилизации продукта. Жизненный цикл изделия состоит из большого количества этапов (рис. 1).

Проектирование, подготовка производства и непосредственно производство занимают огромную долю продолжительности ЖЦИ. На сегодняшний день для производства конкурентоспособной продукции необходимо стремиться к сокращению времени ранних стадий ЖЦИ при обеспечении высокого качества изделия. Этого можно достичь путем автоматизации проектирования и информатизации производства. В настоящее время существуют CALS-технологии (Continuous Acquisition and Lifecycle Support, что по-русски может быть представлено как КСПИ – компьютерное сопровождение и поддержка жизненного цикла изделий), назначение которых – обеспечивать предоставление необходимой информации в нужное время, в нужном виде, в конкретном месте любому из участников жизненного цикла промышленных изделий. Основными задачами CALS-систем являются:

структурирование и моделирование данных об изделиях и процессах; обеспечение эффективного управления и обмена данными между всеми участниками жизненного цикла изделий; создание и сопровождение документации, необходимой для поддержки всех этапов жизненного цикла изделий. Так, на всех этапах ЖЦИ используются различные типы автоматизированных систем (рис. 2).

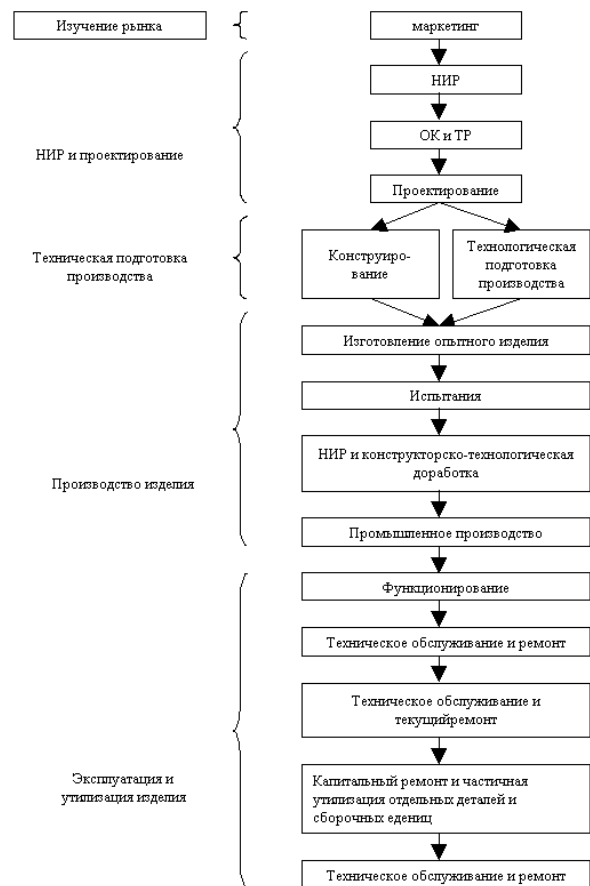


Рис. 1. Этапы ЖЦИ [1]

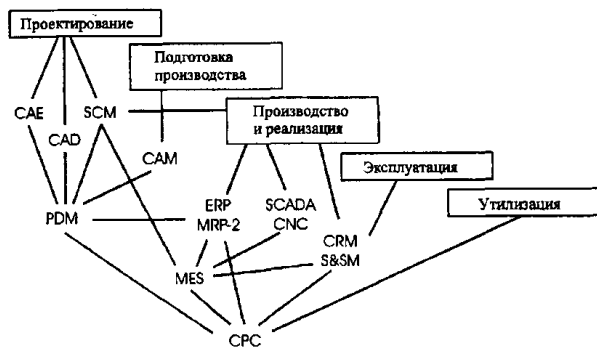


Рис. 2. Этапы ЖЦИ и системы их автоматизации [2]:

- CAE – Computer Aided Engineering (автоматизированные расчеты и анализ);
- CAD – Computer Aided Design (автоматизированное проектирование);
- CAM – Computer Aided Manufacturing (автоматизированная технологическая подготовка производства);
- PDM – Product Data Management (управление проектными данными);
- ERP – Enterprise Resource Planning (планирование и управление предприятием);
- MRP-2 – Manufacturing (Material) Requirement Planning (планирование производства);
- MES – Manufacturing Execution System (производственная исполнительная система);
- SCM – Supply Chain Management (управление цепочками поставок);
- CRM – Customer Relationship Management (управление взаимоотношениями с заказчиками);
- SCADA – Supervisory Control And Data Acquisition (диспетчерское управление производственными процессами);
- CNC – Computer Numerical Control (компьютерное числовое управление);
- S&SM – Sales and Service Management (управление продажами и обслуживанием);

• CPC – Collaborative Product Commerce (совместный электронный бизнес).

Чтобы достичь должного уровня взаимодействия промышленных автоматизированных систем, требуется создание единого информационного пространства не только на отдельных предприятиях, но и, что более важно, в рамках объединения предприятий. Единое информационное пространство обеспечивается благодаря унификации как формы, так и содержания информации о конкретных изделиях на различных этапах их жизненного цикла. Т.е. целесообразно говорить о «сквозной» информатизации и автоматизации. Вся информация об изделии, оборудовании, инструменте, технологии его производства должна быть сосредоточена в единой системе, непротиворечива и доступна, а также легко подвергаться коррекции и модификации в «сквозном» режиме: изменения в одном процессном документе предполагают последовательные логические изменения во всей документации на проектирование, изготовление и эксплуатацию изделия.

При сквозном проектировании происходит переход от бумажной конструкторской и технологической документации к электронной модели производства. Под электронной моделью производства принимается совокупность информационных объектов, включающих конструкторскую, технологическую и иную информацию об изделии от всех участников его проектирования и производства, информацию о методах, правилах, участниках производства, а также экономическую информацию об этих процессах (табл. 1).

Таблица 1

Компоненты электронной модели производства [3]

Этапы жизненного цикла изделия	Информационные объекты, присоединяемые к электронной модели
Маркетинговые исследования	Результаты маркетинговых исследований, перечень требований к проектируемому изделию
Концептуальное проектирование	Концепт-проект изделия
Дизайн-моделирование	Дизайн-модель изделия
Конструкторское проектирование	Трехмерные модели деталей и сборок изделия, компьютерные чертежи, инженерные расчеты
Создание прототипов элементов конструкции	STL-модели деталей, управляющие программы для установки быстрого прототипирования
Разработка технологических процессов	Технологические процессы изготовления деталей и сборок. Данные о себестоимости изделия
Проектирование заготовок	Электронная модель заготовки
Проектирование технологической оснастки	Электронная модель технологической оснастки
Изготовление деталей на станках с ЧПУ	Управляющие программы для станков с ЧПУ
Контроль качества изготовления технологической оснастки	Управляющие программы для контрольно-измерительных машин, данные измерений, результаты сравнений
Другие этапы подготовки производства	...

Для успешного функционирования такой системы на машиностроительных предприятиях необходимо, чтобы выпускники вузов уже владели знаниями в области сквозного проектирования в машиностроении, что требует корректировки учебных планов с включением дисциплин, изучающих следующие вопросы:

- изучение современных средств автоматизации;
- использование средств автоматизации при проведении конструкторских работ;
- применение средств автоматизации в технологической подготовке производства при изготовлении опытных образцов;
- современное оборудование и инструментальное обеспечение производства при использовании возможностей сквозного проектирования;
- применение в ПО современных методов и алгоритмов обработки опытной информации с использованием автоматизации сбора, хранения и обработки данных;
- жизненный цикл технического объекта;
- инженерный консалтинг, процессный и системный подход к анализу производственной деятельности.

Технологов-машиностроителей интересуют решения следующих инженерных задач конструкторско-технологического проектирования (рис. 3):

- концептуальное проектирование и конструирование (проектирование изделий со сложной поверхностной геометрией; расширенные возможности создания фотореалистичных изображений; проектирование дизайна изделия в программах; проектирование твердотельных моделей; создание графических 3D-моделей; проверка геометрии моделей на корректность и соответствие моделей и чертежей стандартам предприятия);
- инженерный анализ (базовые расчеты конструкций на прочность и тепловые расчеты; анализ динамики механизмов; размерный анализ конструкций);
- проектирование технологической оснастки (проектирование станочных приспособлений, пресс-форм, литейных форм и вытяжных штампов);
- разработка управляющих программ для оборудования с ЧПУ (разработка управляющих программ для обрабатывающих центров и станков с ЧПУ и их проверка).



Рис. 3. Инженерные задачи в ЖЦИ [4]

Таким образом, при обучении по направлению «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств» с целью овладения профессиональными компетенциями в области сквозного проектирования следует выделить следующие основные блоки (модули) [3]:

Модуль 1. Программное обеспечение для концептуального проектирования (программы для проектирования дизайна изделий; проектирование твердотельных моделей; создание 3D-чертежей).

Модуль 2. CALS-технологии информационной поддержки изделий (основные понятия и определения CALS; использование 3D-моделей на различных этапах жизненного цикла изделий; функции и возможности PLM-решений (Product Life-cycle Management) в проектировании и

подготовке производства; CALS-технологии в управлении производством).

Модуль 3. САПР технологических процессов (основы технологической подготовки производства применительно к сквозным 3D-технологиям; применение программ-верификаторов при отработке управляющих программ для оборудования с ЧПУ; сквозной цикл в решении задач конструкторско-технологического проектирования).

Для реализации приведенных модулей в нашем вузе в учебных планах направления «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств» для профиля «Технология машиностроения» служат следующие дисциплины (табл. 2)

Таблица 2

**Дисциплины, необходимые для овладения профессиональными компетенциями  
в области сквозного проектирования**

Модули	Дисциплины
1. Программное обеспечение для концептуального проектирования	Компьютерная графика Основы CAD/CAM систем Компьютерное моделирование объектов производства
2. CALS-технологии информационной поддержки изделий	Прикладные программы в инженерном проектировании Основы инженерного консалтинга Основы современных информационных технологий Методология проектирования изделий машиностроения Компьютерные технологии в науке и производстве
3. САПР технологических процессов	САПР технологических процессов Системы автоматизированного программирования оборудования с ЧПУ Современные методы автоматизированного проектирования

Таким образом, для построения системы опережающего обучения в области сквозного проектирования в машиностроении читаемые дисциплины следует преподавать с учетом взаимосвязанности информации об объекте производства с целью сопровождения и поддержки всех этапов жизненного цикла изделий.

**Литература**

1. Жизненный цикл изделия. URL: <http://studopedia.org/14-59789.html> (дата обращения: 18.10.2017).
2. Норенков И.Л., Кузьмин П.К. Информационная поддержка наукоемких изделий. CALS-технологии. – М.: изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. – 320 с.
3. Применение программного обеспечения АСКОН в реализации образовательных дисциплин вуза / Н.А. Денисова и др. // САПР и графика. – 2014. – №3.
4. Настоящее и будущее суперкомпьютеров обсудили на конференции «Тринити». URL: <https://spbit.ru/news/n90242/> (дата обращения: 18.10.2017).

**References**

1. Zhiznennyj cikl izdelija. URL: <http://studopedia.org/14-59789.html> (data obrashhenija: 18.10.2017).
2. Norenkov I.L., Kuz'min P.K. Informacionnaja podderzhka naukoemkih izdelij. CALS-tehnologii. - M.: izd-vo MGTU im. N.E. Bauman, 2002. - 320 s.
3. Primenenie programmnoogo obespechenija ASKON v realizacii obrazovatel'nyh disciplin vuza / N.A. Denisova i dr. // SAPR i grafika. - 2014. - № 3.
4. Nastojashhee i budushhee superkomp'juterov obsudili na konferencii "Triniti". URL: <https://spbit.ru/news/n90242/> (data obrashhenija: 18.10.2017).

**Yasunik S.N., Volkov I.V.**  
**END-TO-END DESIGNING IN MECHANICAL ENGINEERING**

*In the article the necessity of constructing a system of advanced training for students with the purpose of preparing*

*the specialists in the field of end-to-end designing in mechanical engineering is grounded. At the end-to-end designing a transition from the paper design plans and specifications and technological documentation to the electronic production model takes place. The basis for the formation of the electronic model is the use of the principles of CALS-technologies, in accordance with which the whole volume of information about the product of manufacture is divided by the stages of its life cycle.*

**Keywords:** *mechanical engineering, product, life cycle, electronic model, end-to-end design.*

**Ясуник Светлана Николаевна** – к.т.н., доцент кафедры технологии машиностроения и инженерного консалтинга Луганского национального университета имени Владимира Даля.  
**E-mail:** [jsn@ukr.net](mailto:jsn@ukr.net).

**Волков Игорь Владимирович** – к.т.н., доцент кафедры технологии машиностроения и инженерного консалтинга Луганского национального университета имени Владимира Даля.  
**E-mail:** [volnaana@mail.ru](mailto:volnaana@mail.ru).

**Yasunik Svetlana Nikolaevna** – candidate of technical sciences, associate professor of the department of engineering technology and engineering consulting at the V. Dahl Luhansk National University.  
**E-mail:** [jsn@ukr.net](mailto:jsn@ukr.net).

**Volkov Igor Vladimirovich** – candidate of technical sciences, associate professor of the department of engineering technology and engineering consulting at the V. Dahl Luhansk National University.  
**E-mail:** [volnaana@mail.ru](mailto:volnaana@mail.ru).

**Рецензент: Гутько Ю.И.**, зав. каф. промышленного и художественного литья Луганского национального университета имени Владимира Даля.

*Статья подана 23.11.2017*

УДК 50(537.87)

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ В ЗОНАХ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКА

Коровин М.А.

## THE STUDY OF ELECTROMAGNETIC RADIATION IN THE AREAS HUMAN

Korovin M. A.

*В статье исследовано влияние широкого спектра электромагнитных полей, создаваемых различными радио- и электротехническими средствами, которые резко ухудшают среду обитания человека. Подробно рассмотрены отдельные виды излучений, вызывающие серьезные изменения в ряде поведенческих, физиологических и химических реакций в организме человека и воздействующие на структуру живой клетки. Проведенный анализ электромагнитной обстановки в конкретных зонах жизнедеятельности человека позволил рекомендовать ряд организационных мероприятий, а также пассивных и активных средств защиты по минимизации электромагнитных излучений.*

**Ключевые слова:** электромагнитное излучение, низкочастотные магнитные поля, психотронные генераторы, зона жизнедеятельности, проблема защиты от излучений, биологическое воздействие, иммунная система, компьютер, мобильный телефон, бытовые электроприборы.

**Введение.** Вопросы личной безопасности всегда занимали особое место в шкале общечеловеческих ценностей. Это волнует каждого из нас независимо от возраста и рода деятельности.

В последнее время в связи с резким ухудшением среды обитания человека особенно усилилось внимание к техническим средствам защиты личности от электромагнитных излучений.

В первую очередь это вызвано следующими факторами:

1. Благодаря научно-техническому прогрессу и широкому использованию различных радио- и электротехнических средств существенно повысился уровень электромагнитного фона окружающей среды.

2. Из-за воздействия электромагнитных излучений (ЭМИ) на внутренние органы человека появилась возможность создавать преднамеренное влияние на нежелательную личность путем полного или частичного лишения ее трудоспособности или уничтожения.

Электромагнитное излучение, воздействуя на организм человека, вызывает устойчивое изменение

его биополя, снижает иммунную систему и приводит к повышению частоты заболеваний, переходящих в хронические формы.

**Целью статьи** является исследование негативного воздействия электромагнитных излучений на биосистему человека для принятия соответствующих мер и способов защиты.

**Материалы и результаты исследования.** Справедливости ради следует отметить, что весь свой исторический период человечество развивалось в условиях постоянного воздействия всех видов излучений солнечной энергии, а также под воздействием постоянного поля Земли. Поэтому организм человека в той или иной степени адаптирован ко всему спектру излучений, энергетические характеристики которых не выходят за пределы естественного фона.

В настоящее время из всех видов излучений наименее исследованным, с точки зрения воздействия на организм человека, является низкочастотное магнитное поле, появление которого стало данью современному техническому прогрессу и все более широкому и интенсивному применению энергоемких технологий на производстве и в быту.

Наиболее опасными при облучении человека являются электромагнитные колебания, частоты которых совпадают с резонансными частотами структур живой клетки. К ним относятся искусственные и естественные низкочастотные магнитные излучения, которые во много раз ниже, чем постоянное поле Земли. Человеческий организм оказался не готов к этому виду излучения.

Первые серьезные исследования слабых низкочастотных магнитных полей, проведенные в США в 70-х годах, выявили серьезные изменения в ряде поведенческих, физиологических и химических реакций в организме человека.

В результате исследований было установлено, что собственная частота колебаний тела человека составляет примерно 8-15 герц. Это означает, что каждое движение любой мышцы вызывает затухающую микро судорогу всего тела с частотой



его собственных колебаний. Когда на организм начинают воздействовать инфразвуком, колебания тела попадают в резонанс, и амплитуда микро судорог увеличивается в десятки раз. При достаточно мощном воздействии в организме начинают разрываться внутренние органы, капилляры и сосуды, что может привести к летальному исходу.

Наиболее опасный промежуток частот в диапазоне 7-13 герц. На частоте 7 Гц становится невозможной любая умственная работа. Человеку кажется, что его голова разлетится на тысячи осколков. Звук малой интенсивности вызывает тошноту и звон в ушах, ухудшение зрения и «волну страха», излучаемую тайфунами, землетрясениями и извержениями вулканов и побуждающую все живое немедленно покинуть этот очаг стихийного бедствия. Звук средней интенсивности расстраивает органы пищеварения и мозг, рождая паралич, общую слабость, а иногда вызывая слепоту. Мощный и упругий ультразвук способен полностью остановить сердце, а частоты 12 Гц наводят приступы морской болезни, головокружение. Колебания частотой 15 – 18 Гц внушают чувства беспокойства, неуверенности, панического страха.

При исследовании влияния на космонавтов рокота двигателей ракеты ученые обнаружили, что низкие звуковые частоты в диапазоне 0-100 Гц при силе звука до 155 дБ производят колебания стенок грудной клетки, сбивают дыхание, вызывают головную боль и кашель, нарушают восприятие реальности, снижают тонус. Поэтому при помощи инфразвука вполне реально довести человека до самоубийства.

Рабочую аппаратуру низкочастотных колебаний, так называемые психотронные генераторы, благодаря простоте их конструкции, можно изготовить в кустарных условиях. В качестве передатчиков таких волн могут использоваться телефонные провода, трубы канализации и отопления, а также телевизор, телефон, противопожарная и охранная сигнализации.

Идеи работы психотронных генераторов легли в основу действия средств массовой информации. И множество сообщений уже сопровождается направленным влиянием на сознание людей. Поэтому не стоит удивляться росту криминальных структур, странным эпидемиям, нетривиальному поведению людей в некоторых регионах.

Психотронные генераторы способны воздействовать на сознание как отдельного человека, так и целой группы людей, выключая их психику. Поэтому международной ассоциацией «Врачи без границ» было опубликовано обращение ко всем музыкантам мира: не использовать низкочастотные инфразвуки при организации массовых зрелищных мероприятий. В противном случае могут возникнуть необратимые поведенческие реакции, что может привести к массовому помешательству.

Основным способом избавления от негативного воздействия инфразвука является немедленное покидание зоны излучения.

Сегодняшний мир, и тем более завтрашний, трудно представить себе без телевизоров, компьютеров, мобильных телефонов, СВЧ печей и другой электронной бытовой техники. Однако они являются источниками слабого электромагнитного излучения, которое действует в течение длительного промежутка времени в широком диапазоне частот и создает предпосылки для безопасности здоровья.

К наиболее опасным источникам магнитного поля относятся и высоковольтные линии электропередач, трансформаторные подстанции, распределительные щиты и кабели электропитания, потребительская электропродукция: электроплиты, холодильники, электроинструменты, системы освещения и др., биологическое воздействие которых во всех странах мира жестко нормируется специальными стандартами безопасности и санитарными нормами.

Следует обратить внимание, что большинство пользователей указанной электронной техники недооценивают проблемы негативного влияния на их организм этих средств, благодаря незаметности вреда, который причиняют электромагнитные излучения и их торсионные компоненты, так как указанные факторы действуют на наш организм, минуя органы чувств. Ни один из органорецепторов человека не предупреждает его о контакте с источником низкочастотного магнитного поля даже высокой интенсивности. И, наконец, в отличие от других видов излучений защита от воздействия низкочастотных магнитных полей крайне затруднена, дорогостояща, а в ряде случаев просто не эффективна.

Проблема электромагнитного излучения, исходящая от персональных компьютеров, встает достаточно остро ввиду нескольких причин:

- компьютер имеет сразу два источника излучения (монитор и системный блок);
- пользователь ПК практически лишен возможности работать на безопасном расстоянии;
- очень длительное время воздействия.

Наиболее сильным источником электромагнитного излучения является монитор, особенно его боковые и задние стенки, т. к. они не имеют специального защитного покрытия, которое есть у лицевой части экрана.

Впервые значительное комплексное исследование возможного неблагоприятного воздействия электромагнитных полей на здоровье пользователей ПК было проведено в 1984 году в Канаде. В отчете по итогам работы была установлена однозначная связь заболеваемости – электромагнитным полем, генерируемым монитором компьютера. Причем спектральная характеристика излучения монитора в диапазоне 10 Гц – 400 кГц свидетельствует, что основная часть

облучения приходится на низкочастотную магнитную составляющую электромагнитного поля: примерно 70% в диапазоне 10-900 Гц и 28% в диапазоне 1 – 400 кГц.

Продуктивность работы и здоровья пользователей компьютеров в большей мере зависит также от степени ионизации воздуха в пределах рабочего места пользователя. Скопление частиц положительно заряженных ионов отрицательно влияет на функционирование органов дыхания, кровообращения и нервную систему. Экспериментально установлено, что концентрация отрицательно заряженных ионов в атмосфере около монитора до его включения составляет 350 – 620 ионов/см<sup>3</sup>. Через 5 минут после включения монитора концентрация отрицательно заряженных ионов снижается в 8 раз, а через три часа работы их концентрация близка к нулю. Воздух заполняется положительно заряженными частицами разных размеров, что отрицательно влияет на здоровье. Это вызывает необходимость постоянно проветривать помещение или иметь специальный прибор для ионизации воздуха.

Исследования функционального состояния пользователя компьютера, проведенные в 1998 году в России Центром электромагнитной безопасности, показали, что даже при кратковременной работе (45 минут) в организме пользователя под влиянием электромагнитного излучения монитора происходят значительные изменения гормонального состояния и специфические изменения биотоков мозга.

Опыт российских специалистов по изучению влияния низкочастотного поля на здоровье человека подтверждается исследованиями учёных во многих странах мира.

Комплексные исследования условий труда и состояния здоровья пользователей ПК за последние 20 лет, проведенные в этих странах, обнаружили нарушения в состоянии их здоровья, наиболее серьезными из которых являются:

- ухудшение зрения и нарушение сна;
- изменения в иммунной (иммунодепрессивное состояние) и эндокринной системах;
- нарушение психоэмоциональной среды (стрессовый синдром, агрессивность, раздражительность, суетливость);
- злокачественные заболевания: рак крови, опухоли мозга, повышение функциональной активности щитовидной железы и существенное снижение половой активности.

Глубина этих нарушений оказалась пропорциональна величине нагрузки с наиболее ярко выраженным негативным эффектом у тех, кто работает за компьютером по 140-160 часов в месяц.

По обобщенным данным, у работающих за монитором от 2 до 6 часов в сутки, по сравнению с контрольной группой, функциональные нарушения центральной нервной системы происходили в среднем в 4,6 раза чаще, болезни сердечно-сосудистой системы в 2 раза, болезни верхних

дыхательных путей – в 1,9 раза, болезни опорно-двигательного аппарата – в 3,1 раза.

По данным Бюро трудовой статистики США, в период с 1982 по 1990 г. наблюдалось восьмикратное увеличение случаев расстройства здоровья (нетрудоспособности) пользователей ПК.

Особенно чувствительны к влиянию электромагнитных излучений школьники, организм которых еще находится в стадии формирования, даже когда они проводят у экрана компьютера или телевизора несколько часов в неделю.

Ученые Французской академии медицинских наук установили: нахождение ребенка более 50 минут в день у экрана телевизора или монитора ПК уменьшает в 1,4 раза способность запоминать новую информацию, что связано с влиянием электромагнитного излучения на нейроструктуры головного мозга.

Проблема защиты пользователей ПК от негативного влияния на них мониторов является приоритетной, т.к. внедрение компьютерных технологий в учебных заведениях, различных учреждениях диктуют необходимость обеспечения профессиональной защиты пользователей ПК с помощью специально разработанных пассивных и активных средств защиты от электромагнитных излучений.

Телевизоры также негативно влияют на здоровье людей, но не наносят существенного вреда, если располагаются на расстоянии не ближе 2,5 – 3 метров от зрителей. Однако к тяжелым последствиям приводят игровые консоли, или приставки, которые подключаются к телевизору.

Основная проблема в этом случае сводится к тому, что телевизоры излучают более мощное поле, но дети (основная категория пользователей приставок) не могут удалиться от экрана на достаточное расстояние из-за коротких проводов, расстановки мебели, или игровая картинка просто становится очень мелкой. Особую опасность представляют старые телевизионные приемники – их электромагнитный фон в несколько раз выше, чем у современных мировых брендов (Sony, LG, Panasonic и т. д.). После 5-8 часов, проведенных перед таким телевизором (что в наших семьях не редкость), ребенка бросает в жар, быстро поднимается температура, появляется головная боль. В этом случае детей нужно немедленно выводить из зоны действия электромагнитного поля, желательно на улицу.

Часто люди по незнанию окружают себя большим количеством аппаратуры и, что особенно опасно, располагают телевизоры, видеоманитофоны, компьютеры и т.д. в своих спальнях. Необходимо помнить, что просмотр телевизионных передач не должен превышать двух часов в день и, безусловно, нельзя его оставлять включенным все время «для компании».

Можно продолжить список приборов и всего того, что вредит нашему здоровью. Это в первую

очередь сотовые телефоны, пейджеры, микроволновые печи, электробритвы, фены. Синтетическая одежда, украшения, качество освещения, отрицательная ионизация воздуха, которым мы дышим, и ультрафиолетовые источники освещения в кафе, барах, на дискотеках.

В настоящее время наиболее распространенным средством связи является сотовый радиотелефон. Но, однако, не каждый знает, что он оказывает негативное влияние в силу своего локального достаточно мощного высокочастотного излучения.

Для осуществления приема и передачи информации мобильный телефон непрерывно осуществляет поиск свободного канала для связи с базовой станцией той соты, в которой находится данный пользователь. Сканирование каналов осуществляется в диапазоне высокочастотных колебаний, соизмеримом с частотой рентгеновских лучей, которые способны проникать через многие непрозрачные вещества.

Наиболее опасная зона сканирования мобильного телефона при поиске канала вызова находится в пределах одного метра от него. Поэтому не рекомендуется носить радиотелефон на поясе, шее, в грудном кармане в области сердца и вести длительные радио диалоги. В первую минуту разговора по мобильному телефону организм человека еще держит защиту, а потом уже страдает наше здоровье. При средней продолжительности разговора в день 10-12 минут человек получает в год пяти - восьмикратную дозу рентген облучения. Это может в свою очередь спровоцировать злокачественную опухоль в области уха и прилегающих областях головного мозга.

Учеными накоплен большой фактический материал по влиянию на человека так называемых геопатогенных зон Земли. Сетка Хартмана опоясывает торсионное поле на поверхности Земли. В наших широтах расстояние между сетками земли составляет 2 метра в направлении север-юг и 2,5 метра в направлении восток-запад. Длительное пребывание человека в области геопатогенной зоны, так же как и в непосредственной близости от высоковольтной линии, негативно отражается на его здоровье.

Необходимо отметить, что особенно опасны зоны и промышленных низкочастотных магнитных полей, в которых человек проводит значительную часть времени (рабочее место, спальные места или места отдыха). Причем источниками излучения могут являться не только скрытая в стенах помещений силовая электропроводка, но и телевизор (компьютер), другая бытовая техника, работающие в соседних помещениях.

**Вывод.** Обладая исключительно высокой проникающей способностью, низкочастотные магнитные поля становятся одним из основных факторов негативного воздействия на биосистему человека. Альтернативы нет. Поэтому в настоящее

время становится актуальным анализ электромагнитной обстановки в конкретных зонах жизнедеятельности человека и принятие соответствующих организационных мероприятий по минимизации электромагнитных излучений. В качестве защитных мер можно назвать регулярные прогулки на свежем воздухе, проветривание помещений, занятия спортом, соблюдение элементарных правил работы, работа с хорошо экранированной техникой, которая удовлетворяет всем стандартам безопасности и санитарным нормам.

#### Л и т е р а т у р а

1. Рыженко А.П. Физика. Человек. Окружающая среда.-М.: Просвещение, 2000.-512с.
2. Н.Н.Грачев, Л.О.Мырова. Защита человека от опасных излучений. — М.: Бином. Лаборатория знаний, 2009. — 317 с.
3. Сподобаев Ю. М., Кубанов В. П. Основы электромагнитной экологии. — М.: Радио и связь, 2000. — 240 с.
4. Н. Грачев. Средства и методы защиты от электромагнитных и ионизирующих излучений. – 2005. [Электронный ресурс]. URL: [http://grachev.distudy.ru/Uch\\_kurs/sredstva/main\\_0\\_1.htm](http://grachev.distudy.ru/Uch_kurs/sredstva/main_0_1.htm) (дата обращения: 7.11.2010).
5. Электромагнитные поля и наше здоровье// Наука и жизнь.-1998.- №4.- с.7-11.
6. Григорьев Ю. Г. Сотовая связь: радиобиологические проблемы и оценка опасности.// Радиационная биология. Радиоэкология. 2001. № 5-348с.
7. Голышко А. В., Сомов А. Ю. Проблемы эколого-технического развития сетей сотовой связи. Вестник связи. 2003. № 10.
8. Самые опасные и безопасные сотовые телефоны - <http://www.ferra.ru/online/phones/s26610/>
9. Экология и безопасность жизнедеятельности: Учеб.пособие для вузов/Д.А. Кривошеин, Л.А. Муравей, Н.Н.Роева и др.; под ред. Л.А. Муравья. – М.:ЮНИТИ – ДАНА, 2002.

#### R e f e r e n c e s

1. Ryzhenko A. P. Physics. People. Environment.-M.: Education, 2000 .
2. N. N. Grachev, L. O. Myrova. Protection from dangerous radiation. — M.: Binom. Laboratory of knowledge, 2009. — 317 p.
3. Spodarev Yu. M., Kubanov V. P. Fundamentals of electromagnetic ecology. — M.: Radio and communication, 2000. — 240 p.
4. N. Grachev. Means and methods of protection against electromagnetic and ionizing radiation. – 2005. [Electronic resource].
5. Electromagnetic fields and our health// Science and life. .1998.-No. 4.-pp. 7-11.
6. Grigoriev Yu. G. Cellular communications: radiobiological issues and risk assessment. Radiation biology. Radioecology. 2001. No. 5
7. Golyshko A.V.,Somov A. Yu., problems of ecological and technical development of cellular networks. Journal of communication. 2003. No.10.
8. The most dangerous and safe cell phones - <http://www.ferra.ru/online/phones/s26610/>

9. Ecology and safety :proc.the allowance for high schools/D. A. Krivoshein, L. A. Ant N. N. Roeva, etc.; under the editorship of L. A. Ant. – М.:YUNITI – DANA, 2002.

**Korovin M. A.**

**THE STUDY OF ELECTROMAGNETIC RADIATION IN THE AREAS HUMAN**

*The article examines the impact of a wide spectrum of electromagnetic fields generated by various radio and electrical means, which dramatically worsen the human environment. Considered in detail the individual types of radiations causing a major change in the number of behavioral ,physiological and chemical reactions in the human body and affecting the structure of the living cell. The analysis of the electromagnetic environment in specific areas of human life allowed to recommend a number of organizational activities, and passive and active means of protection to minimize electromagnetic radiation.*

**Key words:** *electromagnetic radiation, low-frequency magnetic fields, psychotronic generators, area of activity, the*

*problem of protection from radiation, biological effects, immune system, computer, mobile phone, household appliances*

**Коровин Михаил Андреевич** - кандидат военных наук, доцент, профессор военной кафедры Луганского национального университета имени Владимира Даля.

**Korovin Mikhail Andreevich** - candidate of military Sciences, associate Professor , Professor of the military Department of Luhansk national University named after Volodymyr Dahl.

**Рецензент: Витренко В.А.**, доктор технических наук, профессор, проректор по научно педагогической работе Луганского национального университета имени Владимира Даля.

*Статья подана 11.11.2017*

УДК 620.97

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АБСОРБЦИОННЫХ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ

Муслина Д.Б., Царик Е.В., Василевский О.В., Чайковский М.С.

### DEVELOPMENT OF DISTRICT HEATING SYSTEM BASED ON HEAT PUMPS

Muslina D.B., Tsaryk Y.V., Vasilevski O.V., Chaikouski M. S.

*Одним из способов решения комплексной задачи повышения эффективности выработки тепловой энергии на ТЭЦ и снижения потерь в системах централизованного теплоснабжения является применение абсорбционных тепловых насосов при изменении температурного графика тепловых сетей.*

*Подобный метод был предложен китайскими учеными для решения проблемы постоянно увеличивающегося теплопотребления крупных городов Китая, основой которого было увеличение отпуска теплоты от существующих энергоисточников без изменения пропускной способности трубопроводов и перекладки существующих теплотрасс систем централизованного теплоснабжения.*

*В данной работе предлагается адаптировать полученный китайскими учеными опыт для решения поставленных задач для систем теплоснабжения Беларуси. Основная идея описываемого метода заключается в том, что температуру обратной сетевой воды понижают, тем самым увеличивая разность температур между подающими и обратными потоками сетевой воды, что позволяет более эффективно использовать топливо на ТЭЦ.*

**Ключевые слова:** тепловой насос, система централизованного теплоснабжения

**Ведение.** В Беларуси на нужды отопления и горячего водоснабжения населения тратится порядка 38–40 % тепловой энергии, производимой на ТЭЦ и котельных страны [1]. Для сравнения на севере Китая на отопление помещений приходится порядка 30 % теплоты, вырабатываемой в основном на ТЭЦ страны. Согласно статистическим данным, темп роста ежегодного спроса на тепловую энергию в районах с центральным отоплением составляет 17 %, что ощутимо. Подобная тенденция сохраняется и в центральной части Китая. Пути решения задачи покрытия новых тепловых нагрузок крупных районов ограничены еще и ввиду проводимой в Китае политики по защите окружающей среды, которая имеет строгие ограничения по разработке и введению новых источников теплоснабжения в крупных городах. С быстрым развитием городов

возникло множество дополнительных проблем, связанных с системами централизованного теплоснабжения. Основные вопросы сводятся к следующему:

1. Введен запрет на ввод новых источники теплоснабжения для крупных городов на севере Китая.

2. Пропускная способность существующих сетей централизованного теплоснабжения от энергоисточников не позволяет удовлетворить постоянно растущие потребности в тепловой энергии используя традиционные технологии.

3. Для традиционных систем центрального теплоснабжения, основанных на ТЭЦ с турбинами, имеющими пропуск пара на конденсатор типа «П», «Т» и «ПТ», значительная часть теплоты рассеивается в окружающую среду с циркуляционной водой, тем самым. В результате коэффициент использования топлива на ТЭЦ относительно низок. Подобная ситуация имеет место и на белорусских ТЭЦ.

Белорусскими инженерами и учеными активно ведутся исследования по повышению эффективности использования топливно-энергетических ресурсов во всех секторах экономики. Коммунальный сектор экономики не является исключением. Подобные исследования по утилизации теплоты, рассеиваемой в градирнях и служащей источником теплового загрязнения окружающей среды, ведутся во многих странах мира. Имеется ряд работ, в которых анализируется возможность утилизации отработанного тепла с использованием компрессионного и абсорбционного теплового насоса на электростанциях [2].

К примеру, китайским ученым С. Чонгом показано, что отпуск теплоты через трубопроводы системы теплоснабжения можно увеличить без изменения его диаметров путем увеличения разности температур подающего и обратного трубопровода. При этом, для утилизации низкопотенциальной теплоты обратной сетевой

воды необходимо использование абсорбционного теплового насоса (АБТН).

Таким образом попутно решается задача по снижению теплового загрязнения атмосферы, т.к. рассеиваемая ранее теплота с циркуляционной водой в градирнях тепловых электростанций теперь также будет использоваться. В этой связи далее нами при создании схемы за основу были приняты технологии, предложенные С. Чонгом с адаптацией к местным условиям. Далее будет представлена полученная система централизованного теплоснабжения на базе энергоисточника от ТЭЦ с применением абсорбционных тепловых насосов.

**Описание схемы теплоснабжения на основе АБТН.** Характеристики созданной схемы анализировались, как и со стороны термодинамики, так и экономики. Принципиальная схема представлена на рисунке 1.

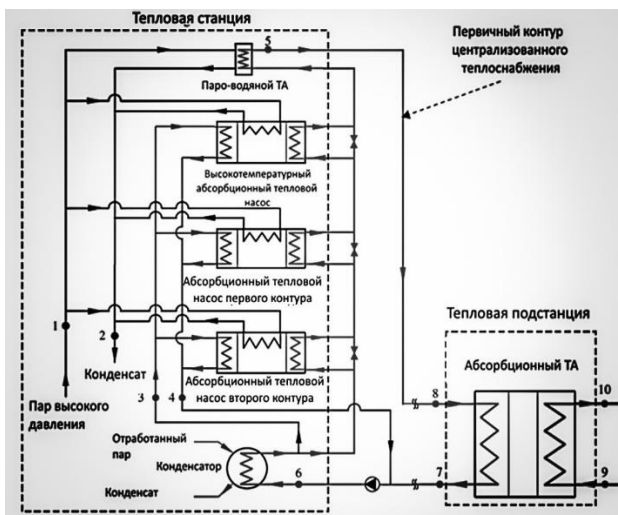


Рис. 1. Принципиальная схема системы теплоснабжения с АБТН

Как показано на рисунке 1 на ТЭЦ устанавливается 3 абсорбционных тепловых насоса: АБТН первого и второго контура, высокотемпературный АБТН; паро-водяной теплообменник и конденсатор. Коэффициент трансформации  $COP_{hp}$  абсорбционного теплового насоса первого контура ниже, чем абсорбционного теплового насоса второго контура.  $COP_{hp}$  высокотемпературного абсорбционного теплового насоса ниже, чем  $COP_{hp}$  абсорбционного теплового насоса первого контура. Абсорбционный тепловой насос первого контура может обеспечить более высокую температуру горячей воды по сравнению с АБТН второго контура, и высокотемпературный АБТН даст большее высокую температуру горячей воды по сравнению с насосом первого контура.

Сеть централизованного теплоснабжения первичного контура состоит из трубопроводов теплосети и циркуляционного водяного насоса. Горячая вода в нем циркулирует по замкнутому

контур и отделена от горячей воды вторичного контура.

В состав схемы также входит тепловая подстанция, на которой устанавливается абсорбционный теплообменник нового типа, который контролирует передачу теплоты от воды в сети централизованного теплоснабжения первичного контура к воде вторичного контура. Абсорбционный теплообменник состоит из абсорбционного теплового насоса и водо-водяного теплообменника. Рабочим телом абсорбционных тепловых насосов является раствор бромистого лития ( $H_2O \cdot LiBr$ ). Абсорбционный теплообменник выполняет ту же функцию, что и водо-водяной теплообменник. Тем не менее, температура обратной воды в сети централизованного теплоснабжения первичного контура намного ниже, чем во вторичном контуре в абсорбционном теплообменнике. Это связано с тем, что абсорбционный тепловой насос потребляет больше тепла от охлажденной воды в сети центрального теплоснабжения первичного контура в испарителе и передает его воде вторичного контура в абсорбере и конденсаторе абсорбционного теплового насоса.

На тепловой станции непосредственно обратная сетевая вода в первичном контуре центрального теплоснабжения нагревается посредством конденсатора, абсорбционного теплового насоса второго контура, и первого контура, а также в высокотемпературном абсорбционном насосе и пароводяном теплообменнике.

На привод абсорбционных тепловых насосов используется пар из отбора турбины и отработанное тепло циркулирующей воды конденсатора ТЭЦ. Таким образом, для покрытия той же тепловой нагрузки, предложенная схема позволяет снизить потребление пара из отбора паровой турбины за счет использования отработанного тепла циркулирующей воды.

На тепловой подстанции теплота циркулирующей воды в первичном контуре центрального теплоснабжения передается циркулирующей воде вторичному контуру сети посредством абсорбционного теплообменника. В абсорбционном теплообменнике, поступающая вода первичной сети служит тепловым ресурсом для управления абсорбционной способностью теплообменника. Затем горячая вода первичной сети от генератора абсорбционного теплового насоса используется для нагрева одной части обратной воды вторичной сети в водо-водяном абсорбционном теплообменнике. В итоге, охлажденная вода в первичном контуре сети из водо-водяного теплообменника используется в качестве низкотемпературного теплового ресурса и охлаждается в испарителе абсорбционного теплообменника. Принципиальная схема абсорбционного теплообменника показана на рисунке 2, где  $Q_1$ ,  $Q_2$  – соответственно подводимая теплота в генераторе от греющего теплоносителя и

испарителе от охлаждаемого теплоносителя;  $Q_K$ ,  $Q_A$  – соответственно подводимая теплота в конденсаторе и абсорбере к нагреваемому теплоносителю.

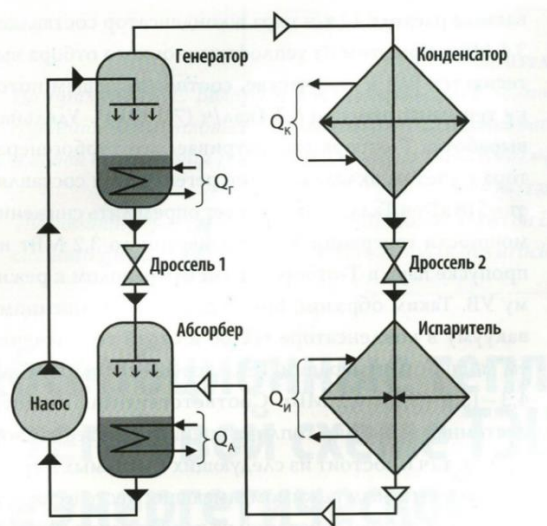


Рис. 2. Принципиальная схема АБТН

Непосредственно сам АБТН представляет собой сочетание четырёх теплообменников, размещённых в одном интегрированном корпусе. Их эксплуатация крайне проста и не требовательна. Два теплообменника (генератор и конденсатор) работают при более высоком давлении и их назначение — получить практически в чистом виде легкокипящую жидкость, в данном случае — воду. Два других теплообменника (испаритель и абсорбер) работают при пониженном давлении. Их задачей является отвод тепловой энергии от источника и превращение полученного пара в компонент жидкого раствора. В ходе описанных превращений от абсорбера и конденсатора отводится теплота соответствующих процессов сорбции и конденсации, которая передаётся нагреваемому теплоносителю, например, сетевой воде.

Таким образом, в предлагаемой схеме для нагрева обратной сетевой воды в первичном контуре централизованного теплоснабжения используется ступенчатый метод. Обратная вода во вторичном контуре нагревается до заданной температуры абсорбционным теплообменником. Важно отметить, что температура обратного потока в сети первичного контура намного ниже, чем температура обратного потока в сети вторичного контура. Это невозможно сделать в обычных водо-водяных теплообменниках в системах центрального теплоснабжения.

Разность температур между прямой водой и обратной водой в существующей сети центрального теплоснабжения первичного контура увеличивается из-за более низкой температуры обратной воды.

Таким образом, мощность теплопередачи существующей сети централизованного теплоснабжения первичного контура в значительной степени повышается.

**Выводы.** В Республике Беларусь применение данной схемы становится все более актуальной, ввиду принятия госпрограммы в области энергосбережения на период с 2016 по 2020 годы, центральная цель которой — сдерживание роста валового потребления топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) при экономическом развитии страны и дальнейшее увеличение использования местных ТЭР.

Использование предложенной схемы организации теплоснабжения с применением АБТН при сохранении существующих теплосетей, позволит увеличить тепловую экономичность системы, что также благоприятно скажется на ценах энергоносителей для населения и предприятий, что является несомненно одним из достоинств данной системы. При этом не потребуются существенной перестройки существующих энергоисточников.

### Литература

1. Национальный статистический комитет Республики Беларусь. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika>. – Дата доступа: 08.10.2017.
2. New waste heat district heating system with combined heat and power based on absorption heat exchange cycle in China – [электронный ресурс]: – Режим доступа: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1359431111006260> – Дата доступа: 03.11.2017.

### References

1. National Statistical Committee of Belarus. Date of access: <http://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika>. 08.10.2017.
2. New waste heat district heating system with combined heat and power based on absorption heat exchange cycle in China. - Fangtian Sun, lin Fun, 2015.

**Muslina D.B., Tsaryk Y.V, Vasilevski O.V, Chaikouski M.S.**  
**DEVELOPMENT OF DISTRICT HEATING SYSTEM BASED ON HEAT PUMPS**

*One of the ways to increase the efficiency of heat energy generation at the CHPP and reducing losses in district heating systems is the use of absorption heat pumps with a change in the temperature graph of heat networks.*

*A comparable method was proposed by Chinese scientists to solve the problem of the constant increasing heat consumption in large cities in China, where the idea was to the increase heat supply from existing energy sources without changing the capacity of pipelines and to keep the existing heating networks without changing.*

*In this paper, it is proposed to adapt the experience gained by Chinese scientists for the heat supply systems in Belarus. The main idea of the described method is that the temperature of the return water is decreased thereby the temperature difference is increased the between the direct and*

*return streams of the network water, which makes it possible to use fuel more efficiently at the CHP plant.*

**Key worlds:** *absorption heat pump, district heating*

**Муслина Дарья Борисовна**, к.т.н., ст. преподаватель кафедры «Промышленная теплоэнергетика и теплотехника», «Белорусский Национальный Технический Университет», г. Минск.

**Muslia Darya Borisovna**, , PhD. Prof. Assistant of the Chair «Industrial Heat-power Engineering », «Belarusian National Technical University». Minsk, Belarus

**Царик Евгений Владимирович**, студент кафедры «Промышленная теплоэнергетика и теплотехника», «Белорусский Национальный Технический Университет», г. Минск.

**Tsaryk Yevgeniy Vladimirovich**, student of the Chair « Industrial Heat-power Engineering », «Belarusian National Technical University».  
**E-mail:** tsarik636@gmail.com

**Василевский Олег Васильевич**, студент кафедры «Промышленная теплоэнергетика и теплотехника», «Белорусский Национальный Технический Университет», г. Минск.

**Vasilevski Oleg Vasil'yevich**, student of the Chair «Industrial Heat-power Engineering», «Belarusian National Technical University».

**Чайковский Максим Сергеевич**, студент кафедры «Промышленная теплоэнергетика и теплотехника», «Белорусский Национальный Технический Университет», г. Минск.

**Chaikouski Maksim Sergeyeovich**, student of the Chair « Industrial Heat-power Engineering », «Belarusian National Technical University».

**E-mail:** chan-maksim@mail.ru

**Рецензент:** *Гусенцова Яна Алимовна*, доктор технических наук, профессор, ГОУ ВПО «Луганский национальный университет имени Владимира Даля».

*Статья подана 3.12.2017*



УДК 331.5

## РОЛЬ И МЕСТО МАЛОГО БИЗНЕСА И ЧАСТНОГО ПРЕДПРИНИМАТЕЛЬСТВА В ИННОВАЦИОННОЙ ЭКОНОМИКЕ

Калюжный В.В.

## ROLE AND PLACE OF SMALL BUSINESS AND PRIVATE ENTREPRENEURSHIP IN INNOVATIVE ECONOMY

Kalyuzhnyy V. V.

*Доказана ведущая роль малого бизнеса и частного в современной инновационной экономике. Малый бизнес обеспечивает рабочими местами более половины трудоспособного населения, он является ведущим звеном в цепи статей наполнения бюджета страны и в формировании внутреннего валового продукта. Малый бизнес гибкий, легко перестраивается под изменения рыночной конъюнктуры, успешно разрабатывает и внедряет новые инновационные продукты, разработанные на основе научных исследований. Без малого бизнеса и частного предпринимательства современная экономика неммыслима. Эти активные участники инновационных процессов обеспечивают работу крупных транснациональных концернов и предприятий.*

**Ключевые слова:** инновационная экономика, малый бизнес, роль, преимущества, основной двигатель прогресса.

Во всём цивилизованном мире деловая общественность, представленная, прежде всего, учёными, политиками, государственными деятелями, экономистами, управленцами различного ранга, предпринимателями, даже, обычными рядовыми работниками тысяч предприятий и организаций, к удивлению, практически единодушна в своей оценке роли малого и частного бизнеса в современной жизни любого государства. Совокупную, или общественную мысль, объединяющую неисчисляемые высказывания по этому вопросу, можно свести к следующему.

Малый и частный бизнес – это стержень экономики, опора государства, гарантия стабильности; двигатель большинства экономических процессов; наиболее динамичный элемент структуры народного хозяйства; мощный стимулятор экономической конкуренции; базис, на котором строится вся экономическая пирамида; основа, обеспечивающая занятость всего населения; крепкий хребет экономики; мощный инструмент экономического благополучия и безопасности страны.

Такие помпезные высказывания в отношении роли малого и частного бизнеса напоминают, скорее, лозунги или тезисы, а утешительная характеристика, как известно, порождает массу сомнений относительно её достоверности, поскольку никоим образом не подкреплена фактами, что это действительно так. Поэтому приведенные выше дифирамбы малому и частному бизнесу, безусловно, требуют предоставления неоспоримых доказательств соответствия их действительности.

Для создания доказательной базы воспользуемся гениальной мыслью И.Гёте: «Нет сомнений в том, что именно цифры показывают, кто и как управляет миром». И с этим высказыванием великого немецкого поэта и мыслителя нельзя не согласиться. Действительно, если доказательства опираются на фактический материал, выраженный, например, в виде статистической информации, то цифры безапелляционно покажут объективную картину и лучше всего расскажут о действительном месте и роли малого и частного бизнеса в мировой экономике.

Из этого следует, необходима статистика, причём такая, чтобы цифры, как говорится, «убивали наповал». Где их взять? Разумеется, в Интернете. Почему? Во-первых, там различных показателей находится более чем предостаточно, а, во-вторых, – это наиболее простой и быстрый способ получения необходимой количественной и качественной информации. Достоверность? 100 %-ная, в силу закона больших чисел: отдельные мнения, представленные даже великими учёными, не могут хоть сколь-нибудь повлиять на общественное мнение тысяч специалистов, пусть, и более низкого ранга или вообще обывателей. Поскольку их абсолютное большинство, с их мнением приходится считаться.

Если источник получения необходимых сведений определён (Интернет), переходим к делу. Заходим во «Всемирную паутину», задаём ключевую фразу: «Роль малого бизнеса в экономике государства» и отправляем её в разные поисковые

системы для поиска и сбора информации, касающейся рассматриваемого вопроса. Результаты этого небольшого исследования приведены в табл. 1.2, из которой следует, что данной теме посвящены тысячи сайтов, содержащих сведения не только об отдельных публикациях или выдержек из них, но и целые книги, учебники, монографии, выступления, интервью и многое другое.

Т а б л и ц а 1.2

**Количество веб-сайтов в сети Интернет, посвящённых роли малого и частного бизнеса в экономике государства\***

№ п/п	Название поисковой системы в сети Интернет	Результаты поиска. общая численность	
		веб-сайтов	страниц
1	Index	2032	22397
2	Google	148379	~1350000
3	Rambler	12594	173525
4	Апорт!	2975	9246
Общее количество		<b>165980</b>	<b>1555168</b>

\* Дата вхождения в поисковые системы – 20.03.2007 года

Наличие такого огромного количества информации в сети Интернет, безусловно, удивляет. Ведь люди, как общеизвестно, освещают только те вопросы, которыми общество интересуется и к которым оно небезразлично. Другими словами, когда тематика никому не интересна, о ней, естественно, никто не пишет, поскольку отсутствует читательская аудитория: если не интересно, зачем писать, если это никто читать не будет, и, тем более, обсуждать и высказывать своё мнение.

В нашем случае, судя по количеству публикаций в Интернет, к вопросу о роли малого бизнеса в мировой экономике общество проявляет, без сомнений, повышенную заинтересованность. Проанализировав и обобщив имеющуюся информацию, кратко представим сведения по этому вопросу. В достоверности приведенных статистических данных можно легко убедиться и самостоятельно, обратившись непосредственно к первоисточникам информации (к веб-сайтам). Некоторые из них представлены в списке литературы. Понятно, можно было бы привести и полный список веб-сайтов, но он настолько огромен, что выделится бы в отдельный том (на момент написания этого раздела их общее количество в поисковой системе Яндекс увеличилось до 195 млн. [1]). Поэтому ограничимся лишь несколькими ссылками, в которых наиболее ярко раскрыт рассматриваемый вопрос, и которые выступают своеобразными «контролёрами» достоверности приведенных фактов.

Активный рост доли малого бизнеса в структуре мировой экономики начался с середины 70-х годов прошлого столетия и не останавливается по настоящее время ни на один день. Но особенно высокие темпы количественного роста малых

предприятий приходится на 80 – 90-е годы прошлого века.

Сегодня в большинстве стран Организации экономического сотрудничества и развития (ОЭСД), предприятия малого и среднего бизнеса составляют более 95 % от общего количества всех предприятий [2], а в наиболее развитых странах Запада малые фирмы составляют 70 – 90 % из общего количества предприятий [3]. В США на 1000 жителей страны зарегистрировано 74 малых предприятий, в Японии – 50, в Германии – 36, в Евросоюзе – 45 [4]. В Польше зарегистрировано 2,5 миллиона малых фирм на 36 миллионов человек населения [3]. В США ежегодно создаётся около 700 тысяч компаний, большинство из которых является малыми фирмами [5, с. 98]. В Западной Европе, США, Японии крупные компании составляют всего лишь 1 – 2 % от общего количества предприятий в стране [5, с. 80].

Приведенные выше данные убедительно свидетельствуют о том, что в настоящее время малый бизнес в количественном отношении занимает самый крупный сектор в мировой рыночной экономике [6].

О том, что малый бизнес в состоянии в огромных масштабах обеспечить работой незанятые трудовые ресурсы, свидетельствуют следующие факты. В США в 80-е годы крупные фирмы потеряли 3 миллиона рабочих мест, и в это же время было создано 9 миллионов рабочих мест, в основном на малых предприятиях [7]. Кстати, в случае разорения мелких фирм, их место тут же занимают новые, что приводит к их полному воспроизводству. Примечательно, что в кризисные годы занятость в мелком бизнесе абсолютно не сокращалась. Эта тенденция наблюдается и в других странах мира и сохраняется уже достаточно длительное время. До 1990 года в США в мелких фирмах было сосредоточено 40 %, в Германии 49 % всей рабочей силы [8]. А сегодня, по данным ООН, в малом бизнесе занято примерно 50 % трудового населения планеты [9]. Малый бизнес обеспечивает до 70 % рабочих мест в большинстве стран ОЭСД [2]. Сегодня в США в малом бизнесе занято 53 % всего населения страны. В современной Японии, где 2/3 рабочие места создаются за счёт малого предпринимательства [10, с. 148], половина всех трудящихся работает в малых фирмах (до 20 человек), а вместе с малыми предприятиями (до 100 человек), в экономике страны занято приблизительно три четверти (71,7 %) японцев [5, с. 98]. По официальным ведомостям экспертов Международной финансовой корпорации, занятость населения в малых частных предприятиях в странах Евросоюза составляет 65 – 85 % [11, с. 182]. Для сравнения, в России этот показатель составляет 20 %, в Украине – всего 5 %.

Представленный выше блок статистической информации позволяет сделать однозначный вывод

о том, что малый бизнес в состоянии довольно эффективно решать проблемы безработицы.

Теперь, также кратко, остановимся на участии малого бизнеса в формировании государственного бюджета и в создании внутреннего валового продукта (ВВП) – общепризнанных показателей уровня развития экономики любого государства. Так, прибыльная часть бюджета развитых стран на 50 – 70 % состоит из налогов малого бизнеса, а в Канаде даже 90 % (в Украине этот показатель составляет лишь 5 %) [12]. Субъектами малого предпринимательства производится 33 – 60 % валового внутреннего продукта [13]. В США на малый бизнес приходится 34,9 % чистого дохода, а в Японии 56,6 % всей продукции в обрабатывающей промышленности производят предприятия малого бизнеса [14]. В Европе на долю малых предприятий приходится около двух третьих выпуска ВВП Европейского Союза. А в некоторых странах ЕС, таких как Люксембург, Швейцария, Норвегия и Дания, вклад предприятий малого бизнеса в ВВП достигает 70 % [15]. На долю крупных предприятий США, Западной Европы и Японии приходится 30 – 50 % производства валового внутреннего продукта и половина всей промышленной продукции [5, с. 80]. Всё остальное – это удел малого бизнеса.

Данный блок информации позволяет сделать однозначный вывод о том, что участие малого бизнеса в формировании государственного бюджета не просто весомо, а, безусловно, определяющее.

Поскольку «цифры», как известно, быстро надоедают и утомляют, постольку имеется смысл остановиться на приведенной информации – картина и так ясна. Однако она будет незавершенной, если не остановиться, хотя бы кратко, на ещё одной стороне предпринимательской деятельности. Речь пойдёт о науке.

Так уж сложилось, что, говоря о малом бизнесе, большинство думает, что он связан либо с торговлей или с производством уже хорошо всем известной продукцией, просто для насыщения ею рынка. То есть, основная функция малого бизнеса, по мнению обывателя, состоит в банальном устранении дефицита на товарном рынке и ни на что иное он не пригоден. Однако, это далеко не так, о чём свидетельствует нижеприведенная информация.

Не смотря на то, что большая часть научного потенциала сосредоточена в крупных компаниях, малые и средние фирмы чаще всего являются инициаторами разработки новых товаров в широком ассортименте продукции. Это связано с особенностями малого бизнеса, точнее, с небольшими размерами предприятий, мобильностью, динамизмом и способностью к быстрой адаптации к изменениям рынка, преимуществом к оригинальным идеям и новинкам. Поэтому транснациональные корпорации традиционно предоставляют малым и частным предприятиям возможность первыми апробировать

новую продукцию, чтобы потом самим перейти к массовому её производству.

Исследования 500 значительных технологических нововведений и изобретений, зарегистрированных в течение последнего двадцатилетия в Германии и США, позволило выявить важнейшую роль небольших фирм в воплощении существенных технологических нововведений [16]. Они обеспечивают создание и освоение около половины всех нововведений в экономике США, относящихся к сфере научно-технического прогресса [17, с. 142]. В частности, из 61 крупного открытия в XX века 48 были сделаны на малых и средних предприятиях [18]. При этом, как показывает практика, 80 – 85% разработок малых фирм внедряются в течение одного – двух лет [19]. В пользу эффективности малых фирм говорит тот факт, что на 1\$ затрат они внедряют в 24 раза больше нововведений и разработок, нежели крупные предприятия [20, с. 11], которые дают жизнь всего лишь 10 % новых технологий, оставшиеся 90 % – внедряют малые предприятия и независимые изобретатели [21]. В США, из всех компаний, задействованных в сфере научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, примерно 90 % составляют малые фирмы [20, с. 11]. Крупные компании ориентированы, в основном, на освоение улучшающих инноваций. Переход к радикально новой технике или выпуску принципиально новой продукции для них нежелателен, поскольку при этом обесценивается накопленный производственный опыт. Многочисленные же мелкие инновационные предприятия стали в США своеобразным дополнением к традиционным конструкторским и научно-исследовательским комплексам промышленных корпораций, университетов, бесприбыльным исследовательским организациям, государственным лабораториям, различным целевым структурам. Существенно проигрывая подобным организациям по ресурсному обеспечению, мелкие фирмы в сфере научно-технического прогресса выигрывают в возможности максимального раскрепощения творческого потенциала и инициативы своих научно-технических сотрудников. Так, ими были созданы самолёты, оптические приборы, персональный компьютер, мягкие контактные линзы, прибор «искусственное сердце» и многое другое. По данным многочисленных исследований, малые фирмы создают в два раза больше новинок, приходящихся на одного работника, чем крупные фирмы. Среды малых фирм с высокой технологией 70 % имеют численность до 20 человек. Ныне США законодательно предусмотрено выделение определённой суммы денег из федерального бюджета на исследования и разработки малым фирмам с высоким научно-исследовательским потенциалом.

Разумеется, у нас нет намерений как-то принизить роль крупных корпораций и транснациональных компаний, этих китов мировой экономики. Сегодня три сверхдержавы – США, Япония и Европейский Союз (в данном контексте Европу можно рассматривать как одно государство) – вступили в нескрываемый спор за контроль над мировой экономикой. Пользуясь своей экономической мощью, США, Япония и Европа борются за утверждение нового экономического порядка. И их сильный малый бизнес является надёжной опорой в этой борьбе, даёт им дополнительные силы. В конце концов, для крупного бизнеса развитие малого предпринимательства необходимо только лишь потому, что малый бизнес даёт жизнь старым крупномасштабным предприятиям и в союзе с ними получают значительную выгоду, как для себя, так и для рыночной экономики в целом.

Можно было бы и дальше продолжить описание эффективности малого бизнеса, но остановимся на приведенной информации – её вполне достаточно для формирования в сознании читателя стойкого и, в то же время, однозначного мнения по данному вопросу. Теперь, реально оценив ситуацию, остаётся лишь подвести итог и сформулировать основную роль малого бизнеса в экономике государства.

Если сказать коротко, малый бизнес реально играет ведущую роль в компенсации неурядиц рыночной экономики (безработица, конъюнктурные колебания, кризисные явления), а также важную роль её классических задач, ключевыми из которых являются: ускорение экономического роста государства, диверсификация продукции и насыщение местных рынков товарами и услугами, в том числе, и инновационными.

Малый бизнес занимает не только наибольший сектор в мировом экономическом пространстве, но является и обязательным компонентом рыночной экономики, поскольку выполняет в ней определённые функции, причём такие, которые другие субъекты экономической деятельности в принципе не могут выполнить. Специфика функций малого бизнеса заключается в том, что они в совокупности обеспечивают гармоническое выравнивание рынка одновременно во всех направлениях. Перечислим эти функции, благодаря которым малый бизнес всегда будет оставаться ведущим игроком в рыночной экономике.

Во-первых, малый бизнес объединяет экономику в единое целое, быстро заполняя свободные рыночные ниши, особенно в потребительской сфере. Потребности людей меняются непрерывно, а корпорации и просто большие предприятия, настроенные преимущественно на долгосрочное серийное производство, не могут оперативно реагировать на изменения или колебания рыночной конъюнктуры, к тому же, выпуск товаров народного потребления

для них, чаще всего, – это сопутствующая (не основная) продукция. В результате этого возникает разрыв между потребностями в новой продукции и возможностями крупных предприятий, в результате чего и возникают свободные рыночные ниши. Занимая их, малый бизнес, как бы, подтягивает отстающие отрасли, путём устранения дефицита на новые товары или, иными словами, устраняет перекосы за счёт того, что обеспечивает баланс между спросом и предложениями, обеспечивая гармоническое развитие экономики по всем направлениям, как единого механизма.

Во-вторых, малый бизнес создает атмосферу здоровой конкурентной среды в экономике. Ведя непримиримую борьбу за выживание, он вынужден постоянно развиваться и адаптироваться к текущим условиям рынка. Ведь для того чтобы выживать, необходимо получать деньги для своего существования, а это означает, что надо быть лучше других, чтобы прибыль доставалась именно им. Поэтому малый бизнес быстро вытесняет неэффективные предприятия с рынка. Из этого следует, что рынок всегда застрахован от застоя.

В третьих, малый бизнес невольно создаёт систему сильных мотивированных стимул-реакций для наиболее полного использования знаний, умений, энергии и трудоспособности населения, что в свою очередь позволяет активней разрабатывать и использовать наличные материальные, кадровые, организационные и технологические ресурсы, создавать более глубокую специализацию и кооперацию, обеспечивать необходимую мобильность в условиях рынка. Высокая интенсивность использования всех видов ресурсов и постоянное стремление к оптимизации их количества, обеспечению наиболее рациональных для данных условий их пропорций – характерная особенность малого бизнеса, без которой немислима его высокая эффективность. Практически это означает, что на малом предприятии не может быть лишнего оборудования, излишних запасов сырья и материалов, лишних работников. Данное обстоятельство является одним из важнейших факторов достижения рациональных показателей экономики в целом.

В-четвёртых, малый бизнес обеспечивает занятость населения, создавая значительное количество дополнительных рабочих мест. В этом и заключается социальная функция малого бизнеса. Кроме того, выплачивая работникам достойную заработную плату, малый бизнес является основным источником формирования среднего класса, что, в свою очередь, расширяет социальную базу проводимых в стране реформ.

В-пятых, малый бизнес обеспечивает восприимчивость экономики к достижениям науки и техники, что способствует развитию инновационного потенциала страны. Он всегда заинтересован в исследовательских и научно-производственных разработках, благодаря которым

создаётся новая продукция, и во внедрении новых форм организации производства, сбыта и финансирования, что позволяет ему сравнительно быстро окупать затраты на науку и изыскания.

И, в-шестых (но это, наверное, самое главное), малый бизнес создаёт ту среду и дух предпринимательства, без которых существование и развитие рыночной экономики невозможно в принципе.

Перечисленные функции наглядно показывают, насколько велика роль малого бизнеса и частного предпринимательства в обеспечении сбалансированности экономики, в насыщении рынка новыми товарами, в обеспечении занятости населения, в создании добросовестной конкурентной среды, которых так не хватает крупным монополистам-гигантам, из-за чего страдает качество продукции, а процесс внедрения новейших технологий всегда оказывался замороженным.

Из этого следует, малый бизнес, владея колоссальным потенциалом, не только является необъемлемой частью мировой экономики, но и выступает в качестве весомого фактора её динамического развития.

Необходимо особенно подчеркнуть региональную значимость малого бизнеса. Малая экономика является настоящей базой рыночной экономики в каждом регионе любой страны. Малый бизнес приносит значительные доходы в местные бюджеты. В свою очередь, малые предприятия весьма заинтересованы в тесном и эффективном сотрудничестве с органами власти на местах, поскольку большинство проблем развития малого бизнеса связано с решением вопросов именно регионального характера и местного значения.

Таким образом, за прошедшие десятилетия малый бизнес убедительно доказал всему миру свою самодостаточность и продемонстрировал свою мощь, а динамизм, темпы его развития и диверсификация форм малого бизнеса дают основания для предвидения, что в осязаемом будущем этот сектор хозяйствования во всём мире будет стабильно развиваться. На современном этапе повышения роли малого бизнеса в мировой экономике – не случайность, а, скорее, необходимая закономерность, вызванная самим ходом истории, и потребностями, возникающими в процессе развития общества.

#### Л и т е р а т у р а

1. Поисковая система Яндекс. Роль малого и частного бизнеса в экономике государства [Электронный ресурс]. Режим доступа: [http // www.yandex .ru](http://www.yandex.ru). – Посещение сайта : 19.11.2017, 10:35.

2. Шугуров М. В. Мировая финансовая система и инновационное развитие: международно-правовые аспекты / М. В. Шугуров // Финансовое право. – 2012. – № 7. – С. 11 – 18.

3. Шестоперов О. Современные тенденции развития малого предпринимательства в России / О. Шестоперов // Вопросы экономики. – 2022. – № 4. – С. 66.

4. Сущность малого предпринимательства и его роль в социально-экономическом развитии страны. Название с экрана : [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://studbooks.net/1992065/ekonomika>. – Посещение сайта : 19.11.2017, 11:00.

5. Управління міжнародною конкурентоспроможністю підприємства (організацій) : [навчальний посібник] / За ред. І.Ю. Сиваченка. – К. : ЦУЛ, 2003. – 186 с.

6. Роль малого бизнеса в экономике. Название с экрана : [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://malbusiness.com>. – Посещение сайта : 19.11.2017, 11:18.

7. Экономика США. Название с экрана : [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://finlit.online/vneshneekonomicheskaya/ekonomika-ssha-14699.html>. – Посещение сайта : 19.11.2017, 11:39.

8. Филошкин М. И. Роль малого бизнеса в экономике М. И. Филошкин // VII Международная студенческая электронная научная конференция "Студенческий научный форум 2015" (Москва, 15 февр. – 31 март. 2015 г.) / Российская Академия Естествознания. – М. : 2015 г. : [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.scienceforum.ru/2015>. – Посещение сайта : 19.11.2017, 12:11.

9. Ивукова И. Д. Совершенствование экономических отношений в сфере малого предпринимательства. Название с экрана : [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://vivliophica.com/articles/economics/551472/1>. – Посещение сайта : 19.11.2017, 12:42.

10. Горфинкель В. Я. Курс предпринимательства : [Учебник для вузов] / Под ред. В. Я. Горфинкеля, В. А. Швандара. – М. : Финансы, ЮНИТИ, 1997. – 439 с.

11. Социальное государство в странах ЕС : прошлое и настоящее / Отв. ред. Ю. Д. Квашнин. – М. : ИМЭМО РАН, 2016. – 189 с.

12. Дробозина Л. А. Финансы : [Учебник для вузов]. Учебники онлайн. Доходы бюджетов развитых стран : [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [http://uchebnik-online.com/soderzhanie/textbook\\_137.html](http://uchebnik-online.com/soderzhanie/textbook_137.html). – Посещение сайта : 19.11.2017, 13:15.

13. Малое предпринимательство. Название с экрана : [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [http://studbooks.net/52803/ekonomika/maloe\\_predprinimatelstvo](http://studbooks.net/52803/ekonomika/maloe_predprinimatelstvo). – Посещение сайта : 19.11.2017, 13:26.

14. Финк Т. А. Малый и средний бизнес: зарубежный опыт развития / Т. А. Финк // Молодой ученый. – 2012. – №4. – С. 177 – 181.

15. Вести. Экономика. Топ-20 стран с самой конкурентоспособной экономикой. Название с экрана : [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.vestifinance.ru/articles>. – Посещение сайта : 19.11.2017, 13:46.

16. Роль и значение малого предпринимательства в экономике. Название с экрана : [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://allrefrs.ru/1-42347.html>. – Посещение сайта : 19.11.2017, 14:00.

17. Предпринимательство : [Учебник для вузов] / под ред. В. Я. Горфинкеля, Г. Б. Поляка, В. А. Швандара. – М. : ЮНИТИ, 2000. – 475 с.

18. Организационно-экономический механизм воздействия на эффективность малого бизнеса (на примере предприятий легкой промышленности). Дис. канд. экон. наук : 08.00.05 / П. В. Табатадзе. – М. : 2002. – 142 с.

19. Система государственной поддержки малого предпринимательства в регионе : Дис. канд. экон. наук : 08.00.05 / М. М. Бахмудов. – Махачкала, 2001. – 168 с.

20. Гринев В. Ф. Инновационный менеджмент : [Учебн. пособие]. – 2-е изд., стереотип. – К. : МАУП, 2001. – 152 с.

21. Значение малого бизнеса для развитых стран. Название с экрана : [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://msd.com.ua/predprinimatelstvo>. – Посещение сайта : 19.11.2017, 17:54.

### References

1. Poiskovaya sistema Yandex. Rol malogo i chastnogo biznesa v ekonomike gosudarstva : [Elektronnyy resurs]. Rezhim dostupa : [http // www.yandex .ru](http://www.yandex.ru). – Poseschenie sayta : 19.11.2017, 10:35.

2. Shugurov M. V. Mirovaya finansovaya sistema i innovatsionnoe razvitiye: mezhdunarodnopravovyye aspekty / M. V. Shugurov // *Finansovoe pravo*. – 2012. – № 7. – S. 11 – 18.

3. Shestoperov O. Sovremennyye tendentsii razvitiya malogo predprinimatelstva v Rossii / O. Shestoperov // *Voprosy ekonomiki*. – 2022. – № 4. – S. 66.

4. Suschnost malogo predprinimatelstva i ego rol v sotsialnoekonomicheskom razvitiy stran. Nazvanie s ekrana : [Elektronnyy resurs]. – Rezhim dostupa : <http://studbooks.net/192065/ekonomika>. – Poseschenie sayta : 19.11.2017, 11:00.

5. Upravlinnaya mizhnarodnoyu konkurentospromozhnisty pidpriemstva (organizatsiy) : [navchalnyy posibnik] / Za red. I. Yu. Slvachenka. – K. : TsUL, 2003. – 186 s.

6. Rol malogo biznesa v ekonomike. Nazvanie s ekrana : [Elektronnyy re-surs]. – Rezhim dostupa : <https://malbusiness.com>. – Poseschenie sayta : 19.11.2017, 11:18.

7. Ekonomikam SShA. Nazvanie s ekrana : [Elektronnyy resurs]. – Rezhim dostupa : <https://finlit.online/vneshneekonomicheskaya/ekonomika-ssha-14699.html>. – Poseschenie sayta : 19.11.2017, 11:39.

8. Filyushkin M. I. Rol malogo biznesa v ekonomike M. I. Filyushkin // VII Mezhdunarodnaya studencheskaya elektronnyaya nauchnaya konferentsiya "Studencheskiy nauchnyy forum 2015" (Moskva, 15 fevr. – 31 mart. 2015 g.) / Rossiyskaya Akademiya Estestvoznaniya. – M. : 2015 g. : [Elektronnyy resurs]. – Rezhim dostupa : <http://www.scienceforum.ru/2015>. – Poseschenie sayta : 19.11.2017, 12:11.

9. Ivukova I. D. Sovershenstvovanie ekonomicheskikh otnosheniy v sfere malogo predprinimatelstva. Nazvanie s ekrana : [Elektronnyy resurs]. – Rezhim dostupa : <https://vivliophica.com/articles/economics/551472/1>. – Poseschenie sayta : 19.11.2017, 12:42.

10. Gorfinkel V. Ya. Kurs predprinimatelstva : [Uchebnik dlya vuzov] / Pod red. V. Ya. Gorfinkelya, V. A. Shvandar. – M. : Finansyi, YuNITI, 1997. – 439 s.

11. Sotsialnoe gosudarstvo v stranah ES : proshloe i nastoyashee / Otv. red. Yu. D. Kvashnin. – M. : IMEMO RAN, 2016. – 189 s.

12. Drobozina L. A. Finansyi : [Uchebnik dlya vuzov]. Uchebniki onlayn. Doho-diy byudzhetrov razvityih stran : [Elektronnyy resurs]. – Rezhim dostupa : [http://uchebnik-online.com/soderzhanie/textbook\\_137.html](http://uchebnik-online.com/soderzhanie/textbook_137.html). – Poseschenie sayta : 19.11.2017, 13:15.

13. Maloe predprinimatelstvo. Nazvanie s ekrana : [Elektronnyy resurs]. – Rezhim dostupa : [http://studbooks.net/52803/ekonomika/maloe\\_predprinimatelstvo](http://studbooks.net/52803/ekonomika/maloe_predprinimatelstvo). – Poseschenie sayta : 19.11.2017, 13:26.

14. Fink T. A. Malyy i sredniy biznes: zarubezhnyy opyt razvitiya / T. A. Fink // *Molodoy uchenyy*. – 2012. – № 4. – S. 177 – 181.

15. Vesti. Ekonomika. Top-20 stran s samoy konkurentosposobnoy ekonomiko. Nazvanie s ekrana : [Elektronnyy resurs]. – Rezhim dostupa : <http://www.vestifinance.ru/articles>. – Poseschenie sayta : 19.11.2017, 13:46.

16. Rol i znachenie malogo predprinimatelstva v ekonomike. Nazvanie s ekrana : [Elektronnyy resurs]. – Rezhim dostupa : <http://allrefrs.ru/1-42347.html>. – Poseschenie sayta : 19.11.2017, 14:00.

17. Predprinimatelstvo : [Uchebnik dlya vuzov] / pod red. V. Ya. Gorfinkelya, G. B. Polyaka, V. A. Shvandar. – M. : YuNITI, 2000. – 475 s.

18. Organizatsionnoekonomicheskiy mehanizm vozdeystviya na effektivnost malogo biznesa (na primere predpriyatiy legkoy promyshlennosti). Dis. kand. ekon. nauk : 08.00.05 / R. V. Tabatadze. – M. : 2002. – 142 s.

19. Sistema gosudarstvennoy podderzhki malogo predprinimatelstva v regione : Dis. kand. ekon. nauk : 08.00.05 / M. M. Bahmudov. – Mahachkala, 2001. – 168 s.

20. Grinev V. F. Innovatsionnyy menedzhment : [Uchebn. posobie]. – 2-е изд., стереотип. – К. : МАУП, 2001. – 152 с.

21. Znachenie malogo biznesa dlya razvityih stran. Nazvanie s ekrana : [Elektronnyy resurs]. – Rezhim dostupa : <http://msd.com.ua/predprinimatelstvo>. – Poseschenie sayta : 19.11.2017, 17:54.

### Kalyuzhnyy V. V.

#### ROLE AND PLACE OF SMALL BUSINESS AND PRIVATE ENTREPRENEURSHIP IN INNOVATIVE ECONOMY.

*The leading role of small business and private in modern innovative economy is proved. Small business provides jobs for more than half of the able-bodied population, it is the leading link in the chain of articles filling the country's budget and in the formation of the domestic gross product. Small business is flexible, it can be easily restructured to change market conditions, successfully develops and introduces new innovative products, developed on the basis of scientific research. Without a small business and private entrepreneurship, the modern economy is unthinkable. These active participants in innovative processes ensure the operation of large transnational concerns and enterprises.*

**Keywords:** innovative economy, small business, role, advantages, main engine of progress.

**Калужный Валерий Вилинович**, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедры «Право интеллектуальной собственности и инноватика» ИЮиМП ГОУ ВПО ЛНР «ЛНУ им. В.Даля»  
**E-mail:** kvkvkvkv@mail.ru

**Valery Kalyuzhnyy**, Ph. D., Associate Professor, Head of the Department "Intellectual Property Law and Innovation" IU&IL SEU VPE LPR "LNU V. Dahl"  
**E-mail:** kvkvkvkv@mail.ru

**Рецензент:** *Витренко Владимир Алексеевич* д.т.н., профессор, проректор по научной работе и инновационной деятельности Луганского национального университета им. В. Даля.

Статья подана 25.11.2017

УДК 331.5

## ОБОСНОВАНИЕ АКТУАЛЬНОСТИ ПРОБЛЕМЫ ДЛЯ НАЧАЛА ЕЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Бугаевская Ю.Ю.

## RATIONALE FOR THE CURRENCY OF THE PROBLEM FOR THE BEGINNING OF ITS RESEARCH

Bugaevskaya Ju. Ju.

*Подчеркнута важность доказательства актуальности проводимых исследований. Проведен обзор литературы, затрагивающей вопросы обоснования актуальности. Приведены определения понятия «актуальность» из энциклопедической и методической литературы. Показана эволюция развития проблемы от ее зарождения до уровня ее актуальности. Разработаны конкретные рекомендации по обоснованию актуальности выбранной темы исследований.*

**Ключевые слова:** исследования, выбор темы, проблема, актуальность, понятие, определение, обоснование.

Одним из обязательных требований, предъявляемых к любой диссертации (кандидатской, докторской), является обоснование актуальности выбранной темы исследований. Это первый и важнейший критерий диссертации, по которому осуществляется ее экспертиза официальными оппонентами, членами специализированного ученого совета, высшей аттестационной комиссией, а также ведущим предприятием или организацией, где была выполнена данная диссертационная работа.

В сущности, обоснование актуальности – это доказательство необходимости выполнения данной научной работы, в целом, и выполнения ее именно сегодня, сейчас. Если соискателю не удастся убедить оппонентов и экспертов в актуальности проводимых им исследований, то и он и его диссертация заведомо обречены на неудачу. Его вряд ли поймут: зачем потрачены силы, время и средства на разработку темы, в которой никто не заинтересован в настоящее время? Поэтому вполне естественно, что вопросу обоснования актуальности темы исследований, необходимо уделять пристальное внимание. Но как убедительно, кратко и четко доказать актуальность выбранной темы исследований? Да и вообще что означает термин «актуальность»? Однозначных ответов на эти вопросы в литературе не обнаружено.

Очевидно, для обоснования актуальности выбранной темы исследований необходимо четкое понимание этого термина, во-первых, и, во-вторых, наличие конкретных рекомендаций как это обоснование должно быть представлено в диссертации: в каком виде, последовательности, объеме.

Посмотрим, как освещены эти вопросы в соответствующей учебной и методической литературе.

В учебном пособии «Основы научных исследований» [1] об актуальности выбранной темы исследований вообще ничего не говорится, даже не упоминается. Такая же ситуация имеет место и в учебном пособии «Основы инженерного творчества» [2]. Авторы этих пособий показывают и подробно описывают методы проведения научных исследований и поиска решений проблемы, но при этом ни слова не говорится о выборе и оценке проблемной ситуации, об ее актуальности. Невольно складывается мнение о том, что авторы исходят из следующих соображений: раз уж задача поставлена, ее непременно надо решать, а каким образом и почему возникла необходимость в проведении данных исследований, кто поставил эту задачу – эти вопросы исследователя не должны интересовать.

В книге «Азбука исследовательского труда» [3] в разделе «Выбор темы. Организация и планирование исследований» отмечается следующее:

«Умение правильно поставить перед собой научную задачу, определить актуальную тему – дело не простое, требующее высокой компетенции исследователя. Говорят, что уметь правильно поставить задачу – значит, как бы наполовину уже ее решить. Любознательности и удивления, обычно предшествующих постановке новой научной проблемы, для этого мало. Важно знать историю развития темы, иметь время и настрой для раздумья по существу поставленной задачи».

Все это правильно, но недостаточно. Только лишь подчеркнуто, что оценить актуальность выбранной темы – дело не простое. Практические рекомендации по оценке актуальности темы научной работы и что такое вообще «актуальность» в этой книге также отсутствуют, хотя в этом научно-популярном произведении в изобилии приведены определения многих понятий, касающихся научных исследований.

В учебнике «Методология научных исследований» [4] подробно описаны все стадии проведения научной работы, а также в приложении приводятся основные требования, предъявляемые к диссертациям. Однако в этой книге также нет определения понятия «актуальность», хотя здесь приведено примерно 500 определений, прямо или косвенно связанных с научными понятиями, с которыми соискатель, так или иначе, сталкивается в процессе работы над диссертацией.

В этой книге об актуальности упоминается всего в двух выражениях: «Выбор темы исследования обосновывается, прежде всего, актуальностью, то есть насколько выбранное исследование способствует развитию выполнения программ экономического и социального развития страны» и «Для определения общегосударственной эффективности темы необходимо связывать ее актуальность и научную новизну для развития определенных знаний, направленных на решение практических вопросов конкретной экономики». Как видим, автор книги подчеркивает важность доказательства актуальности, но при этом не дает каких-либо разъяснений, как это сделать.

Как уже отмечалось, в этой же книге имеется приложение, в котором приводится полностью текст «Основных требований к диссертациям и авторефератам диссертаций», утвержденных ВАК. В этих требованиях говорится о том, что во введении, после «раскрытия сущности и состояния проблемы (задачи), необходимо представить общую характеристику диссертации в рекомендуемой ниже последовательности». Далее приводятся эти рекомендации ВАКа. В первую очередь (!) раскрывается актуальность темы, причем рекомендуется это сделать следующим образом: «Путем критического анализа и сравнения с известными решениями проблемы (научной задачи) обосновывают актуальность и целесообразность работы для развития соответствующей области науки или производства. Освещение актуальности должно быть немногословным. Достаточно несколькими предложениями высказать главное – сущность проблемы или научного задания». В этих рекомендациях не понятно следующее: введение должно начинаться с «раскрытия сущности проблемы» и, далее, в «немногословном освещении актуальности» несколькими предложениями необходимо «высказать главное – сущность проблемы», то есть, получается, что сущность проблемы освещается дважды. Зачем? А где же

доказательства ее актуальности? На этот счет других рекомендаций в требованиях ВАКа не имеется.

В книге Кузина Ф.А. [5], посвященной методике написания кандидатских диссертаций, об актуальности говорится следующее: «Освещение актуальности должно быть не многословным. Начинать ее описание издалека нет необходимости. Достаточно в пределах одной машинописной страницы показать главное – суть проблемной ситуации, из чего и будет видна актуальность темы. Таким образом, формулировка проблемной ситуации – очень важная часть введения». Безусловно, рекомендация полезна, однако сведений о том, как и в какой последовательности надо излагать суть проблемной ситуации, – рекомендаций также нет.

Интересная информация об актуальности приводится в учебном пособии «Основы научных исследований» [6]:

«Тема должна быть актуальной. Это требование одно из основных. Критерия для установления актуальности пока нет (!) (издание 2001 года). Так при сравнении двух тем теоретических исследований степень актуальности может оценить крупный ученый данной отрасли или научный коллектив. При оценке актуальности прикладных научных разработок ошибки не возникают, если более актуальной окажется та тема, которая обеспечит большой экономический эффект». По меньшей мере, это кажется странным. Сегодня можно много предоставить эффективных разработок, но нет средств на их финансирование, да они могут быть и не актуальными. Просто высокая эффективность позволит извлекать дополнительную прибыль и, не больше.

В сущности, предлагаются экспертные оценки, основанные на мудрости специалистов высокого класса или мощного коллектива. Здесь достаточно высока доля субъективизма и, даже, ошибочное мнение, поскольку факты, доказывающие актуальность, вероятно, не принимаются во внимание.

В другом учебнике «Основы научных исследований» [7] об обосновании актуальности темы говорится следующее:

«Выбор направления, проблемы, темы научного исследования и постановка научных вопросов является чрезвычайно ответственной задачей. Актуальные направления и комплексные проблемы исследований формулируются в директивных документах партии и правительства».

Комментарии, как говорится, излишни.

В учебном пособии «Методология и организация научного исследования» [8] приведены более конкретные рекомендации по обоснованию актуальности темы исследования. Актуальность доказывается:

«Путем критического анализа и сравнения будущих результатов с известными решениями



проблемы (научной задачи) обосновывают актуальность и целесообразность работы для развития соответствующей области науки или производства. Можно выделить следующие градации актуальности:

- значимость для развития основных направлений области науки, техники или производства, плановые показатели которых предусмотрены директивными документами;

- значимость для создания новых направлений областей науки, техники или производства;

- качественные изменения в области, например создание новых типов продукции, принципиально новых методов их изготовления;

- решение комплекса вопросов: повышение качества изделий, резкий рост эффективности труда, экономия материалов, снижение себестоимости продукции, повышение рентабельности производства, улучшение условий труда;

- значимость для развития второстепенных направлений области;

- решение отдельных вопросов, например, рекомендации по улучшению параметров изделий.

Формальным признаком актуальности темы исследований выступает связь работы с соответствующей целевой комплексной программой или программами по решению важнейших научно-технических проблем народного хозяйства страны или отдельных областей. При наличии такой связи указываются название конкретной программы или подпрограммы, ее шифр, государственный регистрационный номер». В этих рекомендациях, несомненно, чувствуется «техническая» направленность рекомендаций.

Наиболее развернутые рекомендации по обоснованию актуальности приведены в книге «Организация научно-исследовательской деятельности» [9]. В этом издании имеется даже целый подраздел, который так и называется «Актуальность исследования», в котором приводятся следующие рекомендации:

«Освещение актуальности должно быть немногословным. Достаточно в пределах одной страницы изложить:

- сущность проблемы исследования;
- социальную значимость проблемы исследования, решение которой имеет важное народнохозяйственное и социально-культурное значение в условиях Украины;

- существенное значение для дальнейшего развития соответствующей отрасли науки или производства, теории и практики;

- значение для создания новых направлений данной отрасли науки;

- решение конкретных частных вопросов, которое содействует качественным изменениям в науке или производстве;

- необходимость работы, ее отличие в сравнении с известными решениями проблемы (научной задачи);

- связь темы диссертации с научными программами, планами, темами научно-исследовательской работы организации, где выполнена работа, а также с отраслевыми и (или) государственными планами и программами.

И хотя это и наиболее полный перечень рекомендаций, обнаруженный нами в литературе, его нельзя признать совершенным, поскольку некоторые рекомендации, не относятся непосредственно к обоснованию актуальности выбранной темы исследований. В сущности, только шестая рекомендация относится к обоснованию актуальности, да и то только первая ее часть: «необходимость работы, ...». Однако, как доказать эту «необходимость» – рекомендаций на этот счет нет. Или, третью, четвертую и пятую рекомендации, на наш взгляд, правильнее было бы объединить в одну, поскольку в них говорится, так или иначе, о значимости результатов решения проблемы для развития науки и производства. Отметим, что «значимость результатов» и «актуальность проблемы» – это далеко не одно и то же.

Итак, приведенной информации более чем достаточно для того, чтобы сделать вывод о том, что четких и полных рекомендаций по обоснованию актуальности выбранной темы исследований в специальной методической литературе нет, следовательно, этот вопрос можно считать открытым. Важность его разрешения не вызывает сомнений, поскольку от того, как соискатель умеет выбрать тему исследований и насколько правильно он эту тему понимает и оценивает ее с точки зрения своевременности и социальной значимости, характеризует его научную зрелость как исследователя и профессиональную подготовленность как специалиста в данной области знаний. Это обстоятельство и предопределило необходимость в проведении определенных исследований для поиска ответа на затронутые вопросы.

Цель работы заключается в разработке модели понятия «актуальность» для его уточнения и разработка на его основе конкретные пошаговые рекомендации по обоснованию актуальности выбранной темы исследований.

Прежде чем приступить к разработке рекомендаций по обоснованию актуальности темы исследований, необходимо выяснить, какой смысл вообще вкладывается в это понятие. Для изучения этого вопроса, в первую очередь обратимся к энциклопедической литературе для поиска определений актуальности.

Так, в Большой Советской энциклопедии дано следующее определение актуальности:

*Актуальность – важность, значительность чего-либо в настоящее время, современность (например, актуальный вопрос)* [10].

В Украинских Советских Энциклопедиях [11, 12] определение актуальности отсутствует. Оно также отсутствует и в других национальных энциклопедиях. Из этого следует, что понятие актуальности не имеет национальной принадлежности, то есть, носит интернациональный характер.

Далее обратимся к энциклопедическим словарям. В них приводятся следующие определения актуальности.

*Актуальность (от познелатинского actualis – фактически существующий, настоящий, современный) – важность, значительность чего-либо для настоящего момента, современность, злободневность. Это определение позаимствовано из Большого и Советского энциклопедических словарей* [13, 14].

*Актуальность – современность, злободневность, важность чего-либо в настоящее время.* Это определение дано в Украинских энциклопедических словарях в разные годы их издания [15, 16].

Как видим, украинские энциклопедические словари лишь дублируют понятие «актуальность» из Большого и Советского энциклопедических словарей, причем, с сокращениями.

Теперь следует обратиться к отраслевым, более низким по рангу, энциклопедиям, например, к сельскохозяйственной, физической, горной, химической [17 – 20]. В них также отсутствуют определения понятия «актуальность». Его также нет в отраслевых терминологических и энциклопедических словарях [21, 22]. Из этого следует, что понятие актуальности не имеет отраслевой принадлежности.

Опустимся еще на одну ступень рангов и посмотрим общие профессиональные словари: политехнический, философский, экономический, политический [23 – 26]. В этих словарях также отсутствует определение понятия «актуальность». Из этого следует, что это понятие нельзя отнести ни к одной отрасли профессиональной деятельности человека. Следовательно, оно надсистемное.

Дальнейшее снижение по иерархической лестнице энциклопедической и справочной литературе, как уже видно из приведенного выше материала, не даст новых результатов при поиске информации об актуальности. Поэтому ограничимся приводимыми здесь определениями.

Скорее всего, само слово «актуальность» иностранного происхождения, поскольку оно отсутствует и в толковом словаре русского языка В.И.Даля [27] и в словаре украинского языка [28], но присутствует в словаре иностранных слов [29], где этому понятию дано следующее определение:

*Актуальность (от латинского actualis – деятельный) – важный в настоящее время,*

*назревший, требующий своего разрешения, например, актуальный вопрос.*

Итак, изучение двадцати широко распространенных и общедоступных источников справочной литературы позволяет сделать следующие выводы в отношении понятия «актуальность»: а) понятие актуальности имеет интернациональный характер; б) понятие актуальности носит межотраслевой характер; в) понятие актуальности относится к надсистемным; г) слово «актуальность» иностранного происхождения.

Дальнейшие исследования понятия «актуальность», скорее, зайдет в тупик, если не рассмотреть эволюционное развитие понятие «проблема» (с которым, кстати, неразрывно связано понятие «актуальность»). Априорные рассуждения на этот счёт заключаются в следующем.

Человечество непрерывно развивается. В этом плане, имеется ввиду, не физическое развитие общества, а развитие и усложнение его потребностей. Человек на протяжении всего периода своего существования всегда стремился сделать свою жизнь более безопасной и более комфортной. Это с одной стороны. С другой стороны, постоянное развитие общественного разума и знаний является двигателем научно-технического прогресса. Из этого следует, что технический прогресс также непрерывно развивается. Но. Основными объектами, способствующими развитию технического прогресса являются улучшающие инновации. Поскольку развитие общественных потребностей происходит быстрее, улучшающие инновации, как бы «отстают» и не могут удовлетворить всех потребностей. И еще об одном моменте. Любая вещь, как только она создана, она больше не развивается, в лучшем случае сохраняет свои свойства, а в худшем – просто стареет. А ведь развитие и формирование новых потребностей не прекращается ни на секунду. Разрыв между растущими потребностями и имеющимися неизменными свойствами материальных объектов порождают дискомфорт, дисгармонию, которые с течением времени перерастают в раздражение, то есть в... проблему. Поначалу человек мирится с проблемой, затем это надоедает и он начинает искать пути выхода из сложившейся ситуации. То есть, момент, с которого человек перестает мириться с проблемой, не хочет с ней существовать, последняя перерастает в разряд актуальной проблемы. И это является сигналом для начала исследовательской деятельности, направленной на устранение проблемы. Результаты научных исследований в практическом русле (практическая значимость) позволяют устранить проблему путем создания радикальных инновационных решений, а в научный результат, оказываясь выше уровня развития общества, позволяет еще какое-то время решать мелкие и не актуальные сопутствующие проблемы за счет создания ряда улучшающих

инноваций путем модернизации радикальной инновации. Визуализация изложенных выше

априорных рассуждений представлена на рисунке ниже.

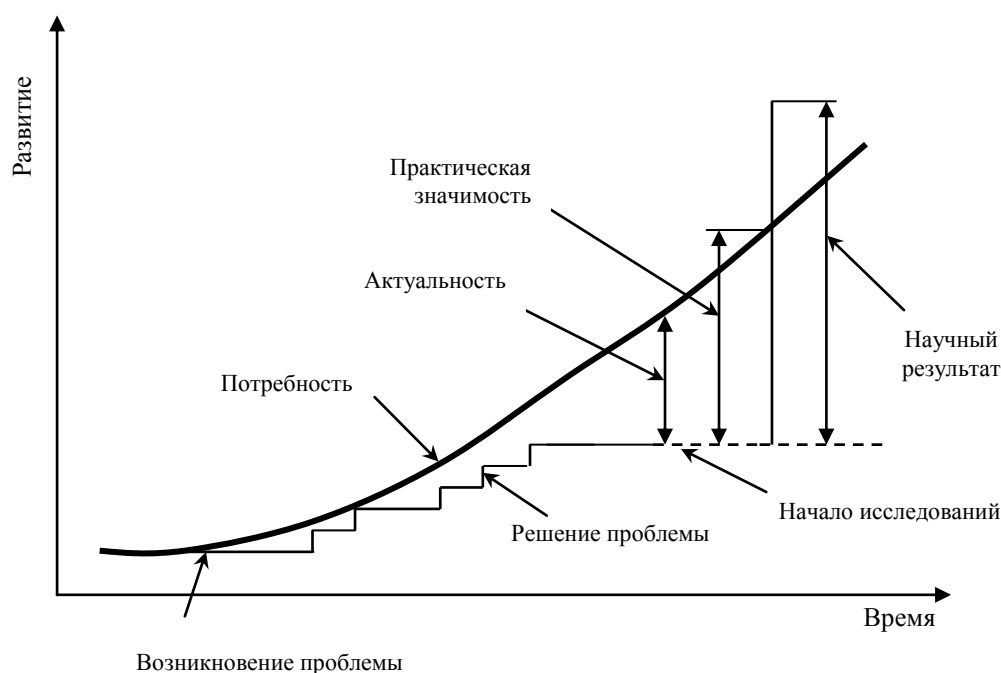


Рис. Эволюция развития проблемы

Итак, в эволюции зарождения любой проблемы и ее развития до актуального уровня можно выделить следующие этапы:

1. Значительный разрыв между потребностями и возможностями на основе имеющихся данных.
2. Тенденция увеличения разрыва с течением времени.
3. Невозможность решения проблемы приводит к обострению отношений, к неудовлетворенности.
4. Попытки решения проблемы известными методами не дают результата.

Из этого следует, как только проблема перешла в разряд актуальной и решить ее известными методами невозможно, необходимо начинать исследования по данному вопросу с целью получения новых знаний, позволяющих решить или устранить проблему.

С учетом изложенного, обоснование актуальности выбранной темы исследований, по нашему мнению, должно содержать ответы на следующие вопросы:

1. В чем заключается сущность и значимость проблемы для общества?
2. К какой области знаний следует отнести проблему и почему именно к ней?
3. Почему данная проблема не может быть решена известными способами?

4. Как долго проблема будет существовать и возможно ли исчезновение естественным путем с течением времени?

5. Возможно ли решение проблемы осуществить сегодня?

В соответствии с первой рекомендацией, необходимо сформулировать проблему, излагая ее сущность, желательно, в одном предложении через вскрытие причин, сдерживающих развитие общественного производства или экономики в целом или социальной сферы.

Далее необходимо показать уровень значимости проблемы для общества. Для подтверждения ее глобальности желательно привести конкретные яркие примеры и/или доказательства в виде впечатляющего числового материала.

Определяя область знаний, к которой относится проблема, можно изучить имеющиеся методики исследований, максимально использовать опыт проведения исследований, оценить риски неполучения положительного результата. Это важно, чтобы не тратить силы на повторные исследования.

Если перебрав все известные методики исследований и выявится, что ни одна из них не подходит, это сигнал к проведению серьезных и глубоких исследований, которые традиционно затронут методологические подходы.

Оценка времени существования проблемы позволяет сопоставить это время с

продолжительность научных исследований. Если эти временные интервалы соизмеримы, необходимо взвесить затраты на проведение изысканий и, если они значительно, возможно, имеется смысл «переждать» или перевести проблему в другую плоскость, сформировать новую потребность.

Безусловно является важным вопрос возможности решения проблемы с учетом современных достижений науки и техники. Может оказаться, что для получения каких-то данных необходимо создание новых материалов или приборов, неизвестных науке. Если это так, то прямое решение проблемы необходимо отложить и дать ход развитию именно того, что пока отсутствует в арсенале ученых, без которого проблему решить все равно не удастся.

В заключении отметим, если проблема возникла, то только в редчайших случаях она сама по себе исчезает с течением времени. Во всех остальных случаях она непременно станет актуальной, и не будет ждать спокойно своего решения, вызывая лишь обострение. Поэтому, если проблема достигает определенного уровня, который называется актуальностью, ее незамедлительно надо решать.

### Л и т е р а т у р а

1. Комаров М. С. Основы научных исследований / М. С. Комаров. – Львов : Вища школа. Изд-во при Львов. ун-те, 1982. – 128 с.
2. Половинкин А. И. Основы инженерного творчества : [Учебн. пособие для студентов втузов] / А. И. Половинкин. – М. : Машиностроение, 1988. – 368 с.
3. Приходько П. Т. Азбука исследовательского труда / П. Т. Приходько. – Новосибирск : Наука. Сибирское отд., 1979. – 94 с.
4. Білуха М. Т. Методологія наукових досліджень : [Підручник] / М. Т. Білуха. – К. : АБУ, 2002. – 480 с.
5. Кузин Ф. А. Кандидатская диссертация. Методика написания, правила оформления и порядок защиты / Ф. А. Кузин. – М. : Ос-89, 2003. – 224 с.
6. Лудченко Основы научных исследований : [Учеб. Пособие] / Под ред. А. А. Лудченко. – 2-е изд., стер. – К. : О-во «Знання», КОО, 2001. – 113 с.
7. Крутов В. И. Основы научных исследований : [Учебн. для техн. вузов] / Под ред. В. И. Крутова, В. В. Попова. – М. : Высш. школа, 1989. – 400 с.
8. Пилюшенко В. Л. Методология и организация научного исследования : [Учебн. пособие] / В. Л. Пилюшенко, И. В. Шкрабак. – Донецк : ДонГАУ, 2001. – 285 с.
9. Шейко В. М. Організація науково-дослідницької діяльності / В. М. Шейко, Н. М. Кушнарєнко. – К. : Знання-Прес, 2002. – 295 с.
10. Большая Советская Энциклопедия. В 30-ти т. / Гл. ред. А. М. Прохорова. – Изд. 3-е. Т. 1 (А – Ангоб). – М. : Сов. Энциклопедия, 1969. – 608 с.
11. Українська Радянська Енциклопедія. Т. 1 (А – Борона). – 2 вид. – Київ : Голов. вид. Укр. Рад. Енциклопед., 1977. – 544 с.
12. Украинская Советская Энциклопедия. Т. 1 (А – Борона). – Киев : Глав. ред. Укр. Сов. Энциклопед., 1978. – 552 с.

13. Большой энциклопедический словарь. В 2-х т. / Гл. ред. А. М. Прохорова. – М. : Сов. Энциклопедия, 1991. – Т. 1. – 1991. – 863 с.
14. Советский энциклопедический словарь / Под ред. А. М. Прохорова. – М. : Сов. Энциклопедия, 1980. – 1600 с.
15. Украинский Советский Энциклопедический словарь. В 3-х т. / Редкол.: А. В. Кудницкий (отв. ред.) и др. – Киев : Глав. ред. УСЭ, 1988. – Т. 1. – 756 с.
16. Український Радянський Енциклопедичний словник. У 3-х т. / Редкол.: А. В. Кудницький (відп. ред.) та ін. – 2-ге вид. – Т. 1 (А – Калібр). – Київ : Голов. вид. УРЕ, 1986. – 752 с.
17. Сельскохозяйственная энциклопедия / Гл. ред. В. В. Мацкевич и П. П. Лобанов. – 4-е изд., перераб. и доп. – Т. 1 (Аб – Годечия). – М. : Сов. Энциклопедия, 1969. – 1199 с.
18. Физическая энциклопедия / Гл. ред. А. М. Прохоров. – Т. 1 (Ааронова-Боме эффект – Длинные линии). – М. : Сов. Энциклопедия, 1988. – 704 с.
19. Горная энциклопедия / Гл. ред. Е. А. Козловский. – Т. 1 (Аа – Геосистема). – М. : Сов. Энциклопедия, 1988. – 560 с.
20. Химическая энциклопедия / Гл. ред. И. Л. Кнуляц. – Т. 1 (АБЛ – Дар). – М. : Сов. Энциклопедия, 1988. – 623 с.
21. Горное дело. Терминологический словарь / Л. И. Барон, Г. П. Демидюк, Г. Д. Лидин и др. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Недра, 1981. – 479 с.
22. Физический энциклопедический словарь / Гл. ред. Б. А. Введенский. – Т. 1 (А – Д). – М. : Сов. Энциклопедия, 1960. – 664 с.
23. Политехнический словарь / Гл. ред. акад. А. Ю. Ишлинский. – 2-е изд. М. : Сов. Энциклопедия, 1980. – 656 с.
24. Философский словарь / Под ред. И. Т. Фролова. – 5-е изд. – М. : Политиздат, 1986. – 590 с.
25. Політичний словник / Ред. В. К. Врубльовський та ін. – Київ : Голов. вид. УРЕ, 1987. – 876 с.
26. Современный экономический словарь / Б. А. Райзберг, Л. Ш. Лозовский, Е. Б. Стародубцева. – 2-е изд. испр. – М. : ИНФРА-М, 1998. – 479 с.
27. Даль В. И. Толковый словарь живого великорусского языка / В. И. Даль. – В 4-х т. – Т. 1 (А – З). – М. : Русский язык, 1978. – 699 с. (печатается по изданию 1880 – 1882 гг.).
28. Словник української мови. Т. 1 / Під ред. П. Й. Горещького та ін. – Київ : Наукова думка, 1970. – 799 с.
29. Словарь иностранных слов. – М. : ЮНВЕС, 1995. – 832 с.

### References

1. Komarov M. S. Osnovy nauchnyih issledovaniy / M. S. Komarov. – Lvov : Vischa shkola. Izd-vo pri Lvov. un-te, 1982. – 128 s.
2. Polovinkin A. I. Osnovy inzhenerenogo tvorchestva : [Uchebn. posobie dlya studentov vtuzov] / A. I. Polovinkin. – M. : Mashinostroenie, 1988. – 368 s.
3. Prihodko P. T. Azbuka issledovatel'skogo truda / P. T. Prihodko. – Novosibirsk : Nauka. Sibirskoe otd., 1979. – 94 s.
4. Biluha M. T. Metodologiya naukovih doslidzhen : [Pidruchnik] / M. T. Biluha. – K. : ABU, 2002. – 480 s.
5. Kuzin F. A. Kandidatskaya dissertatsiya. Metodika napisaniya, pravila oformleniya i poryadok zaschityi / F. A. Kuzin. – M. : Os-89, 2003. – 224 s.

6. Ludchenko Osnovni nauchnykh issledovaniy : [Ucheb. posobie] / Pod red. A. A. Ludchenko. – 2-e izd., ster. – K. : O-vo «Znannya», KOO, 2001. – 113 s.
7. Krutov V. I. Osnovni nauchnykh issledovaniy : [Ucheb. dlya tehn. vuzov] / Pod red. V. I. Krutova, V. V. Popova. – M. : Vyssh. shkola, 1989. – 400 s.
8. Pilyushenko V. L. Metodologiya i organizatsiya nauchnogo issledovaniya : [Ucheb. posobie] / V. L. Pilyushenko, I. V. Shkrabak. – Donetsk : DonGAU, 2001. – 285 s.
9. Sheyko V. M. Organizatsiya naukov-doslidnitskoyi diyalnosti / V. M. Sheyko, N. M. Kushnarenko. – K. : Znannya-Pres, 2002. – 295 s.
10. Bolshaya Sovetskaya Entsiklopediya. V 30-ti t. / Gl. red. A. M. Prohorov. – Izd. 3-e. T. 1 (A – Angob). – M. : Sov. Entsiklopediya, 1969. – 608 s.
11. Ukrayinska Radyanska Entsiklopediya. T. 1 (A – Borona). – 2 vid. – Kiyiv : Golov. vid. Ukr. Rad. Entsikloped., 1977. – 544 s.
12. Ukrainskaya Sovetskaya Entsiklopediya. T. 1 (A – Borona). – Kiev : Glav. red. Ukr. Sov. Entsikloped., 1978. – 552 s.
13. Bolshoy entsiklopedicheskiy slovar. V 2-h t. / Gl. red. A. M. Prohorova. – M. : Sov. Entsiklopediya, 1991. – T. 1. – 1991. – 863 s.
14. Sovetskiy entsiklopedicheskiy slovar / Pod red. A. M. Prohorova. – M. : Sov. Entsiklopediya, 1980. – 1600 s.
15. Ukrainskiy Sovetskiy Entsiklopedicheskiy slovar. V 3-h t. / Redkol.: A. V. Kudnitskiy (otv. red.) i dr. – Kiev : Glav. red. USE, 1988. – T. 1. – 756 s.
16. Ukrainskiy Radyanskiy Entsiklopedichniy slovník. V 3-h t. / Redkol.: A. V. Kudnitskiy (vIdp. red.) ta In. – 2-ge vid. – T. 1 (A – Kallbr). – KiYiv : Golov. vid. URE, 1986. – 752 s.
17. Selskohozyaystvennaya entsiklopediya / Gl. red. V. V. Matskevich i P. P. Lobanov. – 4-e izd., pererab. i dop. – T. 1 (Ab – Godetsiya). – M. : Sov. Entsiklopediya, 1969. – 1199 s.
18. Fizicheskaya entsiklopediya / Gl. red. A. M. Prohorov. – T. 1 (Aaronova-Boma effekt – Dlinnyie linii). – M. : Sov. Entsiklopediya, 1988. – 704 s.
19. Gornaya entsiklopediya / Gl. red. E. A. Kozlovskiy. – T. 1 (Aa – Geosistema). – M. : Sov. Entsiklopediya, 1988. – 560 s.
20. Himicheskaya entsiklopediya / Gl. red. I. L. Knulyants. – T. 1 (ABL – Dar). – M. : Sov. Entsiklopediya, 1988. – 623 s.
21. Gornoe delo. Terminologicheskiy slovar / L. I. Baron, G. P. Demidyuk, G. D. Lidin i dr. – 3-e izd., pererab. i dop. – M. : Nedra, 1981. – 479 s.
22. Fizicheskii entsiklopedicheskiy slovar / Gl. red. B. A. Vvedenskiy. – T. 1 (A – D). – M. : Sov. Entsiklopediya, 1960. – 664 s.
23. Politehnicheskiy slovar / Gl. red. akad. A. Yu. Ishlinskiy. – 2-e izd. M. : Sov. Entsiklopediya, 1980. – 656 s.
24. Filosofskiy slovar / Pod red. I. T. Frolova. – 5-e izd. – M. : Politizdat, 1986. – 590 s.
25. Poltichniy slovník / Red. V. K. Vrublovskiy ta In. – KiYiv : Golov. vid. URE, 1987. – 876 s.
26. Sovremennyiy ekonomicheskii slovar / B. A. Rayzberg, L. Sh. Lozovskiy, E. B. Starodubtseva. – 2-e izd. ispr. – M. : INFRA-M, 1998. – 479 s.
27. Dahl V. I. Tolkoviy slovar zhivogo velikorusskogo yazyika / V. I. Dahl. – V 4-h t. – T. 1 (A – Z). – M. : Russkiy yazyik, 1978. – 699 s. (pechataetsya po izdaniyu 1880 – 1882 gg.).
28. Slovník ukrayinskoyi movi. T. 1 / Pid red. P. Y. Goretzkogo ta in. – Kiyiv : Naukova dumka, 1970.–799 s.
29. Slovar inostrannykh slov. – M. : YuNVES, 1995. – 832s.

#### Bugaevskaya Ju. Ju.

#### RATIONALE FOR THE CURRENCY OF THE PROBLEM FOR THE BEGINNING OF ITS RESEARCH

*The importance of proving the relevance of ongoing research is underlined. A review of the literature dealing with questions of substantiation of relevance is carried out. The definitions of the concept of "relevance" from encyclopedic, reference, educational and methodological literature are given. The evolution of the problem development from its origin to the level of its relevance is shown. Specific recommendations have been developed to explain the relevance of the chosen research topic.*

**Keywords:** research, choice of topic, problem, relevance, concept, definition, justification.

**Бугаевская Юлия Юрьевна**, старший преподаватель кафедры «Право интеллектуальной собственности и инноватика» ИЮиМП ГОУ ВПО ЛНР «ЛНУ им. В.Даля»  
**E-mail:** bugaevskaya@inbox.ru

**Juliya Bugaevskaya**, Senior Lecturer of the Department "Intellectual Property Law and Innovation" IU&IL SEU VPE LPR "LNU V. Dahl"  
**E-mail:** bugaevskaya@inbox.ru

**Рецензент: Калюжный Валерий Вилинович** кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедры «Право интеллектуальной собственности и инноватика» ИЮиМП ГОУ ВПО ЛНР «ЛНУ им. В.Даля»

Статья подана 25.11.2017

УДК 669.18(075.8)

## ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА МОДЕЛИРОВАНИЯ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ И ТЕПЛОМАССОБМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ В АГРЕГАТЕ КОВШ-ПЕЧЬ

Белюсов В.В., Бодряга В.В., Бондаренко В.И., Недошкин Ф.В., Сухарева С.Ф.

## VISUALIZATION OF THE PROCESS OF SIMULATION OF HYDRODYNAMIC AND HEAT MASS TRANSFER PROCESSES IN THE LADLE-FURNACE UNIT

Bilousov V., Bodryaga V., Bondarenko V., Nedopekin F., Suhareva S.

*Сформулирована математическая модель для расчета гидродинамических и теплообменных процессов в агрегате ковш-печь. Для технологов металлургического производства предоставляется программный комплекс с удобным пользовательским интерфейсом и широкими возможностями визуализации входного и выходного потоков данных.*

**Ключевые слова:** Математическая модель, агрегат ковш-печь, программное обеспечение, поток данных, гидродинамические процессы, теплообменные процессы.

**Введение.** В современной металлургии ковш-печь - это агрегат, наиболее рационально обеспечивающий возможность гибкого управления процессом формирования физико-химического состояния расплава для достижения поставленной цели - получение высококачественной стали с заданным химическим составом и свойствами.

Для эффективной эксплуатации сталеразливочного ковша агрегата ковш-печь необходимо знать, как распределяются температурные поля в футеровке ковша в различные периоды обработки расплава и каким образом они могут изменяться в процессе эксплуатации. Теплофизические процессы, происходящие в сталеразливочном ковше и его футеровке, являются весьма важными с точки зрения обеспечения его работоспособности. Работы, выполненные в области математического моделирования теплового состояния футеровки ковшей, базируются на моделях нестационарной теплопроводности, основывающихся на дифференциальных уравнениях Фурье с граничными условиями первого или третьего рода. Результаты такого моделирования в литературе достаточно ограничены и не всегда однозначны, что, видимо, объясняется выбором начальных условий и исходных значений, а также различными подходами в области эксплуатации ковшей на разных заводах. Поэтому такие исследования требуют дальнейшего развития

применительно к конкретным сталеплавильным цехам и технологическим построениям, в частности, условиям работы агрегата ковш-печь.

**Целью** настоящей работы является разработка математической модели для расчета динамики нагрева шлака и определение распределения температуры в стенках АКП и разработка программного обеспечения, позволяющего визуализировать процесс моделирования.

Расчётная область схематически представлена на рисунках 1, 2 и 3. Наличие этих областей объясняется тем, что для расчета термической обстановки в стенке АКП необходимо знать распределение температуры в ванне АКП, в свою очередь, на распределение полей температуры влияет гидродинамическая обстановка в расплаве.

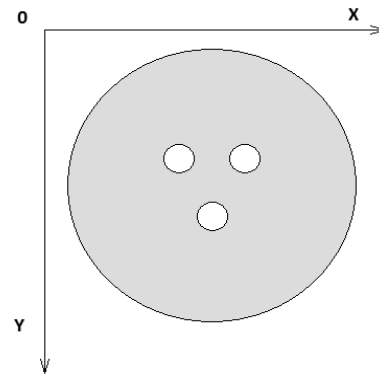


Рис 1. Расчётная область шлака, вид сверху

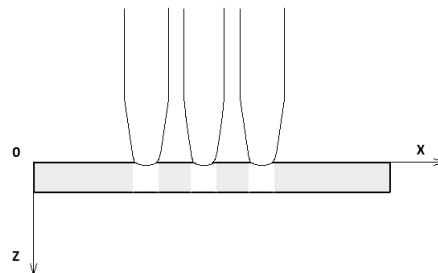


Рис. 2. Расчётная область шлака- вид сбоку

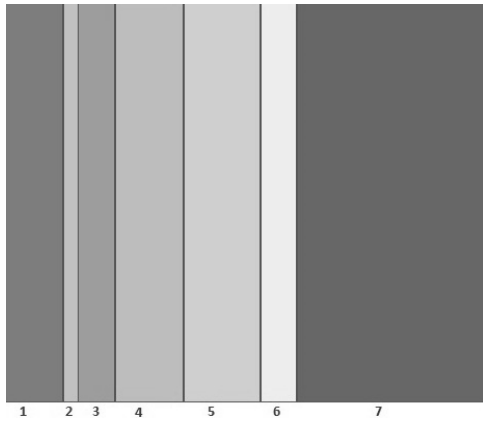


Рис. 3. Схема расчетной области прогоревшего сталь-ковша. 1-броня, 2-теплоизоляционная бумага, 3-теплоизоляционные маты, 4-теплоизоляционный кирпич, 5- арматурный слой, 6-магнезит, 7-рабочая ПУ футеровка

Рассматривается сталеразливочный ковш с вместимостью – 60 т. жидкой стали, с начальной температурой футеровки – 900 0С, начальной температурой жидкого металла в ковше – 1600 0С. Процесс наполнения жидкой сталью не рассматривается. Предусматривается введение в слой шлака сверху трех электродов и открытие двух продувочных пробок, расположенных относительно оси симметрии сталеразливочного ковша под углом 900 (рис.1). На заводе применялась технология импульсной продувки-попеременное изменение расхода инертного газа в продувочных пробках, независимо друг от друга, для ускорения процесса гомогенизации расплава.

Несимметричность расположения пробок не позволило решать задачу в цилиндрических координатах. Поэтому, для генерации сетки выбраны декартовы координаты, где в торцевых частях области подбором шагов аппроксимировалось основание цилиндра.

В модели ведется учет воздействия конвективного теплообмена с окружающей средой, учитывается температура в цехе. Теплоизоляция сталеразливочного ковша представляет собой систему из пяти слоев – четыре из которых теплоизоляционных, а пятый – непосредственно стальная основа – броня. Теплоизоляция представлена следующими материалами (начиная от брони): теплоизоляционная бумага; арматурный слой; магнезит; рабочая периклаз-углеродистая футеровка.

Гидродинамические и термодинамические процессы в сталеразливочном ковше описываются [1,2]:

Уравнением теплопроводности:

$$c\rho \left[ \frac{\partial T}{\partial t} + \left( u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} + w \frac{\partial T}{\partial z} \right) \right] = \lambda \Delta T$$

Уравнением Навье-стокса в трех компонентах и уравнение неразрывности:

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial u^2}{\partial x} + \frac{\partial uv}{\partial y} + \frac{\partial uw}{\partial z} \\ = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} + \nu \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\partial uv}{\partial x} + \frac{\partial v^2}{\partial y} + \frac{\partial vw}{\partial z} \\ = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial y} + \nu \left( \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial w}{\partial t} + \frac{\partial uw}{\partial x} + \frac{\partial vw}{\partial y} + \frac{\partial w^2}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial z} \\ + \nu \left( \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right) + |g|\beta\Delta T \\ \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \end{aligned}$$

Начальные условия для скорости и температуры следующие:

Граничные условия в месте контакта брони сталь-ковша с окружающей средой:

$$\lambda \frac{\partial T}{\partial n} = -\alpha(T_6 - T_{cp})$$

$T_6$  -- температура брони;

$T_{cp}$  -- температура окружающей среды;

$\alpha$  – коэффициент теплообмена.

Коэффициент  $\alpha$  был найден по формуле М. А. Михеева :

$$Nu = C(GrPr)^n,$$

где  $Pr = \frac{\nu}{a}$  – число Прандтля;  $\nu$  - кинематическая вязкость,  $m^2/c$ ;  $a$  – коэффициент температуропроводности,  $m^2/c$ ;  $Gr = \frac{\beta a^3 g \Delta T}{\nu^2}$  – число Грасгофа;  $C, n$  – эмпирические коэффициенты;  $\beta$  – коэффициент объемного расширения,  $1/K$ ;  $d$  – диаметр ковша, выбранный как характерный размер,  $m$ ;  $\Delta T$  – разница температуры между броней и окружающей средой,  $C^0$ ;

Для расчета коэффициента теплоотдачи от стенок в окружающую среду удобно пользоваться следующим эмпирическим выражением

$$\begin{aligned} \alpha = 2,667 \cdot 10^{-9} \cdot T_{\Gamma}^3 + 1,078 \cdot 10^{-4} \cdot T_{\Gamma}^2 - \\ - 5,513 \cdot 10^{-2} \cdot T_{\Gamma} + 6,961 \end{aligned}$$

полученным на основании графика, приведенного в (рис. 4):

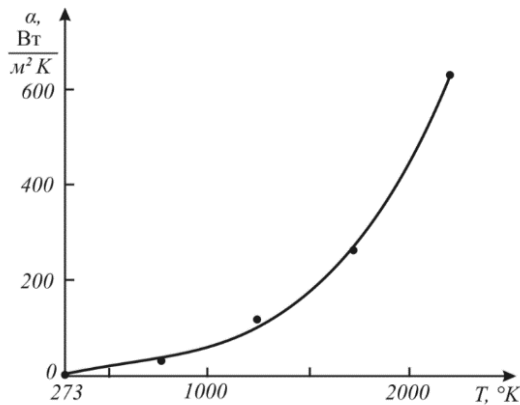


Рис. 4. Зависимость коэффициента теплоотдачи от температуры поверхности тела

На границе каждого слоя использовались граничные условия четвертого рода:

$$\lambda_i \frac{\partial T}{\partial n} = \lambda_{i+1} \frac{\partial T}{\partial n}, T_i = T_{i+1},$$

где  $\lambda_i$  - коэффициент теплопроводности  $i$ -го слоя футеровки, Вт/м·К

Поскольку известно, что скорость на ограничивающей жидкость твердой поверхности, равна нулю (условие «прилипания и непроницаемости»), то граничные условия для скорости на границе «металл-шлак», стенках и днище ковш-печи имеют вид:

$$u=0; \quad v=0; \quad w=0.$$

При проектировании программного обеспечения использован шаблон Модель-Представление-Контроллер (Model-View-Controller, MVC), который представляет собой схему разделения данных приложения, пользовательского интерфейса и управляющей логики на три отдельных компонента: модель, представление и контроллер таким образом, что модификация каждого компонента может осуществляться независимо от других [3].

Модель предоставляет данные и методы работы с ними. В нашем случае в основе в компонент «модель» входят библиотеки классов и подпрограмм для расчета поставленной задачи моделирования гидродинамических, теплообменных процессов [4-9].

Компонент «Представление» отвечает за получение необходимых данных из модели и отображение их пользователю. Представление может влиять на состояние модели, сообщая модели об этом.

Образ экрана представлен на рис. 5.

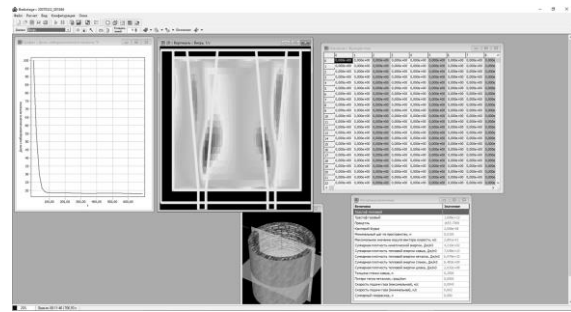


Рис. 5. Образ экрана для расчета гидродинамических и теплообменных процессов в АКП

Вверху находится поле опций, ниже - поле инструментов, затем строка состояний и рабочее поле. В свою очередь рабочее поле состоит из: графического отображения функции, 2-D графика с эквидистантными линиями функций, табличные значения функций; ниже 3-D графика, позволяющее показать плоскости, которые представлены на 2-D графике и в таблице; параметры входных данных. Предусмотрены опции, которые позволяют в широких пределах настроить параметры входного потока данных расчета (рис. 6).

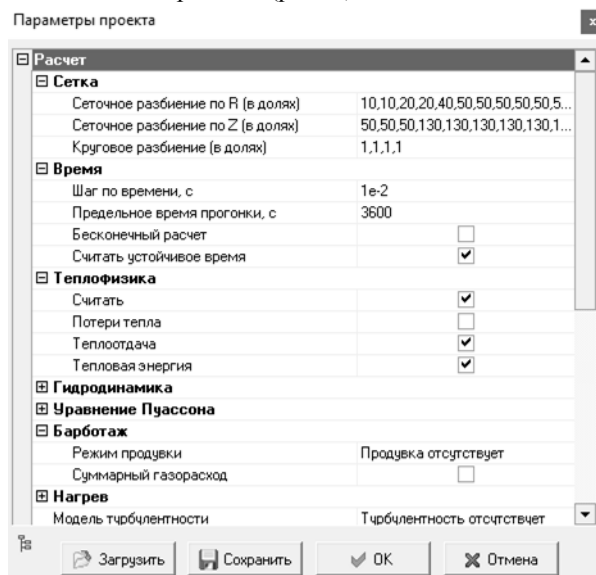


Рис. 6. Настройки входного потока данных

Представленные на рис.7. данные позволяют определить точность счёта и сходимость уравнений Навье-Стокса и неразрывности, что очень полезно в период отладки программы или выбора новых режимов работы АКП.

С помощью меню быстрого реагирования возможны следующие операции (рис.8, слева направо): создание проекта, т.е. появляется выпадающее меню с входным потоком данных; открыть и продолжить счёт с входной точки, которые формируются на диске; сохранение проекта и результатов счёта на диске; создание входной точки; очистка окон счёта; начало вычислений; пауза; сохранение выборных изображений



результатов счета; сохранение всех результатов счета; показатель сходимости уравнений Пуассона, Навье – Стокса и точность счета; вывод на экран параметров процесса; очистка графика с изолиниями; очистка 3D графика; очистка 2D-графика; очистка полей таблиц; очистка поля расчетных единиц.

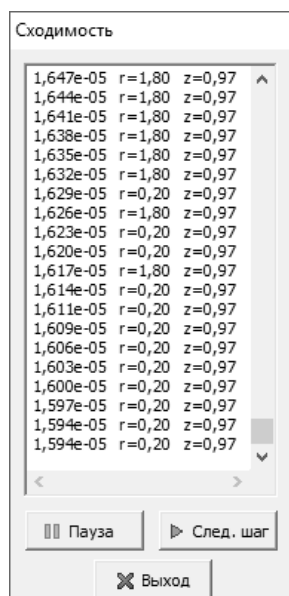


Рис. 7. Сходимость, точность счета для уравнений Навье-Стокса и Пуассона



Рис. 8. Меню быстрого реагирования.

Для оценки эффективности использования данной технологии, на заводе ООО “Электросталь” была проанализированы 16 плавков с использованием вышеописанной технологии.

Сравнение экспериментальных данных с результатами расчетов, полученными при отсутствии износа футеровки, показывает, что при локальном износе характер распределения температур в целом аналогичен. Это показывает достаточно хорошее совпадение результатов вычислительного и промышленного экспериментов, что говорит об адекватности математической модели. Кроме того, технология, примененная на ООО “Электросталь”, позволила на практике увеличить на 20% скорость десульфурации [2].

**Выводы.** На примере решений системы уравнений гидродинамики и теплообмена показана визуализация результатов математического моделирования процессов в агрегате ковш-печь. Обоснована адекватность математической модели и вычислительного алгоритма. Для технологов металлургического производства предоставляется программный комплекс с удобным

пользовательским интерфейсом и широкими возможностями визуализации процесса расчета.

### Л и т е р а т у р а

1. Лейбензон В А, Кондратенко В М, Недопекин Ф В, Белоусов В В и др. (2009) Затвердевание металлов и металлических композиций. Киев. «Наукова думка». С. 446.
2. Белоусов В В, Бондаренко В И, Недопекин Ф В, Бодряга В В и др. (2017) Математическая модель гидродинамических и теплообменных процессов в агрегате ковш – печь. Вестник Череповецкого государственного университета. 1 (76). С. 20-27.
3. Fowler M (with Rice D, Foemmel M, Heatt E, Mee R and Stafford R) (2002) Patterns of Enterprise Application Architecture. Addison-Wesley Professional. p. 560.
4. Анищенко Н Ф, Шабловский В А, Белоусов В В, Бондаренко В И (2006) Расчет гидродинамических и теплофизических процессов в слитках трубной стали. Металлургическая и горнорудная промышленность. №3. С. 91-93.
5. Computer modeling of wheel steel ingots formation. Scientific basics of modern technologies: experience and prospects. (2011) Monograph: edited by Shalapko Y I and Dobrzanski L A Khmelnsky National University p.147-156.
6. Assessing the impact of the turbulence and the bubbling in the process of continuous refinement of steels in the bath of the tundish ladle CCM. Study of problems in modern science: new technologies in engineering, advanced management, efficiency of social institutions. (2015) Monograph. (edited by Shalapko Y I) Khmelnsky National University. p. 72-77.
7. Bondarenko V I, Bilousov V V, Nedopekin F V and Shalapko J I (2015). The mathematical model of hydrodynamics and heat and mass transfer at formation of steel ingots and castings. Archives of Foundry Engineering. 15(1). p. 13-16.
8. Бодряга В В, Недопекин Ф В, Белоусов В В, Окунева Т А (2017) Математическая модель распределения газовых потоков с учетом влияния струи азота при переливах чугуна. Вестник Череповецкого государственного университета. 1 (76). С.28-32.
9. Бондаренко В И, Комаров В Ф, Белоусов В В, Недопекин Ф В и др. (2013) Математическое обеспечение и компьютерные технологии для моделирования гидродинамических и теплофизических процессов в металлургии. (монография). Донецк. Юго-Восток. 210 с.

### R e f e r e n c e s

1. Leibenzon VA, Kondratenko VM, Nedopekin FV, Belousov V V et al. (2009) Solidification of metals and metal compositions. Kiev. "On-the-wit dumka." p. 446.
2. Belousov V V, Bondarenko VI, Nedopekin FV, Vodryaga V V et al. (2017) Mathematical model of hydrodynamic and heat-and-mass processes in the bucket-furnace assembly. Bulletin of the Chere-Povets State University. 1 (76). Pp. 20-27.
3. Fowler M (with Rice D, Foemmel M, Heatt E, Mee R and Stafford R) (2002) Patterns of Enterprise Application Architecture. Addison-Wesley Professional. p. 560.
4. Anishchenko NF, Shablovsky VA, Belousov V V, Bondarenko VI (2006) Calculation of hydrodynamic and thermophysical processes in ingots of tubular steel. Metallurgical and mining industry. No. 3. Pp. 91-93.
5. Computer modeling of wheel steel ingots formation. Scientific basics of modern technologies: experience and

prospects. (2011) Monograph: edited by Shalapko Y I and Dobrzanski L A Khmelnsky National University p.147-156.

6. Assessing the impact of the turbulence and the bubble in the process of the continuous refinement of steels in the bath of the tundish ladle CCM. Study of problems in modern science: new technologies in engineering, advanced management, efficiency of social institutions. (2015) Monograph. (edited by Shalapko Y I) Khmelnsky National University. p. 72-77.

7. Bondarenko V I, Bilousov V V, Nedopekin F V and Shalapko J I (2015). The mathematical model of hydrodynamics and heat and mass transfer at formation of steel ingots and castings. Archives of Foundry Engineering. 15 (1). p. 13-16.

8. Bodryaga V V, Nedopekin FV, Belousov V V, Okuneva TA (2017) A mathematical model for the distribution of gas flows, taking into account the influence of the nitrogen jet during cast iron overflows. Bulletin of Cherepovets State University. 1 (76). P.28-32.

9. Bondarenko VI, Komarov VF, Belousov V V, Nedopekin FV et al. (2013) Mathematical support and computer technologies for simulation of hydrodynamic and thermophysical processes in metallurgy. (monograph). Donetsk. Southeast. P. 210.

**Bilousov V., Bodryaga V., Bondarenko V., Nedopekin F., Suhareva S.**

#### **VISUALIZATION OF THE PROCESS OF SIMULATION OF HYDRODYNAMIC AND HEAT MASSTRANSFER PROCESSES IN THE LADLE-FURNACE UNIT**

*A mathematical model for the calculation of hydrodynamic and heat-mass-exchange processes in the bucket furnace assembly is formulated. Technologists of metallurgical production are provided with a program complex with a user-friendly interface and wide possibilities of visualization of the input and output data streams.*

**Keywords:** *Mathematical model, ladle furnace aggregate, software, data flow, hydrodynamic processes, heat and mass transfer processes.*

**Белюсов Вячеслав Владимирович**, д.т.н. профессор зав. кафедрой «Физика неравновесных процессов, метрологии и экологии им. Повха И.Л.» ГОУ ВПО ДНР «Донецкий национальный университет» г. Донецк.

**E-mail:** v.v.bilousov@gmail.com

**Bilousov Vyacheslav Vladimirovich**, Doctor of technical sciences, professor. Head of the chair "Physics of nonequilibrium processes, metrology and ecology named Povkh I.L." Donetsk national university.

**E-mail:** v.v.bilousov@gmail.com

**Бодряга Виктор Викторович**, старший преподаватель кафедры «Компьютерных технологий» ГОУ ВПО ДНР «Донецкий национальный университет» г. Донецк.

**Bodryaga Victor Victorovich** Senior lector of chair "Computer technology". Donetsk national university.

**Бондаренко Виталий Иванович**, старший преподаватель кафедры «Компьютерных технологий» ГОУ ВПО ДНР «Донецкий национальный университет» г. Донецк.

**Bondarenko Vitaly Ivanovich** Senior lector of chair "Computer technology". Donetsk national university.

**Недопекин Федор Викторович**, д.т.н. профессор кафедры «Физика неравновесных процессов, метрологии и экологии им. Повха И.Л.» ГОУ ВПО ДНР «Донецкий национальный университет» г. Донецк.

**Nedopekin Fedor Victorovich** Donetsk national university. Doctor of technical sciences, professor of the chair "Physics of nonequilibrium processes, metrology and ecology named Povkh I.L." Donetsk national university.

**Сухарева Светлана Филипповна** к.т.н. старший научный сотрудник кафедры «Физика неравновесных процессов, метрологии и экологии им. Повха И.Л.» ГОУ ВПО ДНР «Донецкий национальный университет» г. Донецк.

**Suhareva Svetlana Filippovna** Candidate of sciences. Senior scientist of the chair "Physics of nonequilibrium processes, metrology and ecology named Povkh I.L." Donetsk national university.

**Рецензент: Бирюков Алексей Борисович**, д.т.н., проф., зав. каф. "Техническая физика" ГОУ ВПО "Донецкий национальный технический университет".

*Статья подана 25.11.2017*

УДК 628.113

## ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОЛОГИИ АКВАТРОНИКИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ ВОДОСНАБЖЕНИЯ И ВОДООТВЕДЕНИЯ

Николенко И., Салиев Э.

## APPLICATION OF AQUATRONICS METHODOLOGY FOR INCREASING THE EFFICIENCY OF WATER SUPPLY AND WATER TREATMENT SYSTEMS

Nikolenko Ilya, Saliev Enver

*Описана методология новой области науки и техники – акватроники, которая основана на системном объединении знаний в различных областях науки и техники. Представлено, что отличительной особенностью акватроники является совместное и взаимосвязанное рассмотрение потребления водных и энергетических ресурсов, как совместных и взаимосвязанных процессов. Установлено, что насосное оборудование является одним из наибольших мировых потребителей электроэнергии, а повышение его энергетической эффективности является важным направлением совершенствования систем водоснабжения и водоотведения. Методология акватроники в значительной степени повышает эффективность мероприятий, направленных на экономию водных и энергетических ресурсов. Представлены возможности научно-образовательного центра «Акватроник Фесто Центр», созданного на основе учебных систем и компонентов фирмы «ФЕСТО» по управлению и оптимизации энергопотребления производственных процессов систем водоснабжения и водоотведения.*

**Ключевые слова:** энергетическая эффективность, энергосбережение, водоснабжение, водоотведение, оптимизация, управление.

**Введение.** Вода является наиболее важным природным ресурсом, который используется человеком. Объемы ежегодного использования водных ресурсов намного превосходит все вместе взятые другие добываемые ресурсы. Вода для человечества в качестве ресурса обеспечивает в три важнейшие функции:

- производство продовольствия;
- производство энергии и промышленной продукции;
- бытовое водопотребление и удовлетворение санитарно-гигиенических потребностей.

Значительный рост мировой экономики в прошлом веке, демографический рост, в том числе городского населения, сопутствующее этому увеличение антропогенной нагрузки на экосистемы и природные водные объекты стали причиной возникновения дефицита воды во многих регионах

мира. В настоящее время не менее 20% населения Земли проживает в регионах с дефицитом воды, а по оценкам Всемирного банка, существенных изменений ситуации с водными ресурсами в ближайшие 50 лет может не произойти. К середине XXI века прогнозируется, что уже 40% населения Земли будет испытывать дефицит воды, а 20% - серьезно страдать от него. На Всемирном саммите по устойчивому развитию в 2002 г. в Йоханнесбурге Генеральный секретарь ООН К. Аннан сформулировал пять ключевых проблем перехода человечества к устойчивому развитию: вода, канализация, энергия, здоровье, сельское хозяйство, биоразнообразие, которые сокращенно обозначаются в англоязычной литературе как WENAB (Water and Sanitation, Energy, Health, Agriculture, Biodiversity). Вода, водоотведение и энергия поставлены на первые места, так как они являются ключевыми факторами для решения и всех остальных проблем.

Проблемы потребления воды, водообеспеченности, вызванные потребностями растущей глобальной экономики, ростом населения мира с каждым годом обостряются. Для многих стран мира - тех, что переживают водные проблемы или тем более водный кризис, эти проблемы вышли на первый план. Ограниченность мировых запасов пресной воды стремительно превращает ее в дефицитный природный ресурс. Недостаток энергоресурсов, а также проблемы охраны окружающей среды делают вопросы, которые связаны с водопользованием особо актуальными. Защита водных ресурсов, оптимизация их использования, становятся в центре международной и государственной политики с регулированием на различных уровнях управления. Повышение эффективности использования энергии, ресурсов в технических и технологических системах с одной стороны повышает надежность энергоснабжения, а с другой - уменьшает спрос на природные ресурсы [1, 2]. Поэтому условием устойчивого развития и

рациональной экономической деятельности является повышение эффективности использования ресурсов и энергии. Эффективное использование водных и энергетических ресурсов в водохозяйственных системах является наиболее экономичным способом усовершенствования работы систем водоснабжения. Отсутствие комплексных решений этих задач, приводит к неэффективному управлению водными ресурсами, а в результате может нарушить доступность и устойчивость водных ресурсов в будущем. Поэтому защита и рациональное использование водных ресурсов являются важной частью стратегии экологической безопасности Российской Федерации на период до 2025 года.

Интегральное понимание специфики и функций воды необходимо для эффективного управления водопользованием, которое позволит уменьшить природную, экономическую, техническую и социальную неопределенность. Существующая разнотипность структур управления водными ресурсами приводит к тому, что в большинстве решений проблем связанных с водными ресурсами основное внимание уделяется частным технологическим и конструктивным решениям, ориентированным на коммерциализацию. Чтобы справиться с изменениями в подходах к водным ресурсам необходимо их интегрированное управление, которое призвано координировать водные ресурсы во всех соответствующих секторах. Сложности решения проблем по управлению водными ресурсами связаны с отсутствием современного уровня практически ориентированного образования, что не позволяет внедрять комплексные решения. Повышение эффективности использования энергии, ресурсов в экономических технических и технологических системах с одной стороны повышает надежность систем потребления ресурсов, а с другой - уменьшает спрос на природные ресурсы, а также повышает безопасность жизнедеятельности. На любом уровне показателей эффективность повышается при росте полезного эффекта и снижении потребления ресурсов.

Рациональное и эффективное использование энергетических и водных ресурсов, с учетом экологической безопасности, требует широкого диапазона мероприятий по их комплексному управлению на основе учета всех связей между водой, энергией и экологией, то есть применения синергетического подхода. Отличительной особенностью такого подхода является совместное и взаимосвязанное рассмотрение потребления водных и энергетических ресурсов, избегая отношения к ним как к отдельным, обособленным и несвязанным процессам. Эффективность мероприятий, направленных на экономии водных и энергетических ресурсов в значительной степени повышается при их совместном планировании.

**Обзор и постановка задач исследований.** Основными задачами муниципальных

водопроводных и канализационных хозяйств является хозяйственно-бытовое водопотребление, удовлетворение санитарно-гигиенических потребностей населения городов, что в ближайшее время станет источником воды для большей части населения Земли. Ограниченность запасов энергоресурсов, дефицит пресной воды ставит перед этими хозяйствами комплексные задачи водообеспечения городов экономически эффективными способами.

Важнейшими характеристиками технического уровня проектируемой и эксплуатируемой системы, машины, их агрегатов являются энергетические, которые отображают объем необходимых энергетических ресурсов для обеспечения соответствующего полезного эффекта от их использования. Энергопотребление изделий определяет стоимость их жизненного цикла для конечных пользователей, а также дополнительные расходы на другие ресурсы. Энергетические характеристики машин определяют стоимость их жизненного цикла, а также оказывают воздействия на окружающую среду в виде ее загрязнения различными способами и в разной степени. Повышение энергоэффективности приводит к снижению потребления энергии, производство которой оказывает существенное влияние на окружающую среду. Поэтому потребление ресурсов и энергии объекта следует устанавливать и обеспечивать таким образом, чтобы минимизировать стоимость жизненного цикла для конечных пользователей с учетом последствий для других экологических аспектов.

Одним из основополагающих документов, определяющих политику ЕС в области энергосбережения в строительстве, стала Директива 2002/91/ЕС, в которой нашли отражение ключевые вопросы повышения энергетической эффективности инженерных систем зданий. В Директиве отмечается, что на здания различного назначения приходится до 40% от общего объема потребления топливных и энергетических ресурсов в Европе. Целью Европейской Директивы 2002/91/ЕС стало создание единой методики общей оценки энергетической эффективности зданий [3]. При такой оценке должны учитываться не только тепловая изоляция здания, расположение здания относительно сторон света, но и энергетическая эффективность его инженерных систем, а также вторичное использование энергии. Документ стал законодательной основой для разработки комплекса мер, направленных на повышение эффективности использования энергии в зданиях различного назначения.

За последние десятилетия политика европейских стран является примером комплексного подхода к решению проблем по повышению эффективности использования энергии. Ключевую роль здесь сыграло принятие документов, призванных создать общую систему

стимулирования массового внедрения энергосберегающих технологий. Для объективной оценки технического уровня показателей энергосвязанных оборудования, изделий и машин в последние десятилетия сформировалось направление по маркировке его энергетической эффективности. Суть маркировки состоит в том, что на основе анализа и тестирования энергопотребления в группе энергосвязанных изделий каждому из них присваивается определенный индекс энергоэффективности, фиксируемый в технической документации. В целях унификации шкала энергоэффективности для всех групп маркируемых изделий разбивается на несколько классов. Индекс энергетической эффективности - значимый параметр любого энергетического оборудования, который характеризует отношение затрачиваемой мощности на различных режимах эксплуатации к эталонной мощности. Уже более четверти векам указание данных о потреблении энергии для большинства домашних электроприборов является в странах ЕС обязательным.

Проблема повышения энергетической эффективности технологического процесса подачи воды и отвода стоков, является одной из основных для систем водоснабжения и водоотведения (СВВ). Разработке новых конструкций и технологических процессов СВВ для повышения энергетической эффективности силовых агрегатов насосных станций (НС) в технической литературе посвящено значительное количество исследований последних десятилетий. Современные СВВ представляют собой сложные комплексы технологических процессов, инженерных сооружений, машин и аппаратов, которые содержат механическое, гидравлическое, энергетическое оборудование, трубопроводы, арматуру, контрольно-измерительные приборы, компьютерное обеспечение и средства автоматизации. Эти комплексы предназначены для получения воды из природных источников, улучшения ее качества, хранения, транспортирования, подачи и распределения ее между потребителями, с последующей транспортировкой стоков, их очисткой и отводе в водные объекты.

На всех этапах жизненного цикла СВВ, наряду с обеспечением требуемых параметров технологических процессов в нормальных и аварийных условиях, необходимо при наименьших затратах на их сооружение и эксплуатацию обеспечивать: требуемую степень надёжности, долговечности, экономичности и выполнение ряда других требований. В СВВ энергопотребление насосного оборудования является одной из главных составляющих эксплуатационных затрат предприятий коммунального хозяйства. Поэтому в СВВ повышение энергетической эффективности насосного оборудования является главным резервом снижения затрат на потребление энергии и ресурсов.

Повышенное внимание к энергетической эффективности насосного оборудования обусловлено тем, что до 85% совокупных затрат, с учетом приобретения и эксплуатации насоса за срок его службы составляет стоимость потреблённой энергии.

При проектировании, реконструкции и модернизации СВВ насосные агрегаты НС выбираются из стандартного ряда с запасом по напору и подаче, с учетом параметров эксплуатации. Важным условием эффективного использования насосных агрегатов в СВВ, является согласование их оптимальных режимов работы с переменными эксплуатационными параметрами. Лучший результат выбора насосного агрегата обеспечивается, если при колебании расходов, отклонения параметров насосного агрегата по КПД будут находиться в пределах  $\pm 10\%$  от максимального значения. При конструировании ЦН их характеристики по КПД оптимизируются для узкой рабочей области номинального режима, который в условиях эксплуатации может даже не использоваться. В результате, на практике высокий уровень КПД насосов часто остается незадействованным в виду неправильного согласования параметров НС с условиями эксплуатации.

**Основной раздел.** Одними из наибольших потребителей энергии в городских хозяйствах являются муниципальные СВВ. В этих системах гидравлические и аэродинамические машины используют значительную часть энергии на НС и станциях очистки воды и сточных вод, так как управляются без оптимизации технологических процессов. Оптимизированные системы используют меньше электроэнергии, что в результате снижает объемы работ по техобслуживанию и увеличивает время жизни операционных модулей. Детальное изучение потребления энергии нужно для того, чтобы определить потенциал оптимизации. Регулярное измерение показателей работы оборудования СВВ, является важным способом энергосбережения, поскольку полученные данные обеспечивают информацию об эффективности оборудования, и потенциале энергетической эффективности [4, 5].

Во многих современных инженерных системах для обеспечения высокого качества реализации технологических процессов применяются методы интеллектуального управления. Такие методы основываются на новых идеях в теории управления, на современных аппаратных и программных средствах компьютерной техники, а также на инновационных подходах к синтезу систем управления. Внедряя современные инструменты управления технологическими процессами СВВ, может быть создана технологическая концепция, которая включает измеримые цели и критерии, а также конкретные меры их достижения.

В множестве технических, технологических и экологических параметров СВВ приоритетными являются качество и стоимость питьевой воды, производительность системы водоснабжения, удельные энергозатраты и другие. Для систем водоотведения приоритетными являются качество и стоимость очищенной сточной воды, количественные параметры сброса, удельные энергозатраты и другие. Эти параметры являются критериями оптимизации, а большинство других параметров непосредственно влияют на значения выбранных критериев либо их ограничивают. Оптимальными технологическими моделями СВВ является такая совокупность реализуемых технологий, которая обеспечивает значение хотя бы одного критерия лучше предельно достижимого, а остальных не хуже предельно достижимых. Раздельное рассмотрение критериев технологических процессов позволяет достичь рациональных значений параметров СВВ, но оптимальные параметры можно получить только при совместном рассмотрении критериев. Построение всех связей между параметрами СВВ и критериями, их совместный анализ и синтез позволяет разрабатывать оптимальные технологические процессы для систем водопользования.

В последнее десятилетие в международной среде специалистов по управлению водными ресурсами формируется новое направление подготовки специалистов - акватроника (Aquatronics), которое синергетически интегрирует классические дисциплины: «Механика и строительство», «Автоматизация и информационные технологии», «Электротехника и электроника», «Химия и физика», «Биология», а также общие вопросы, как «Коммерция», «Экономика», «Охрана окружающей среды, здоровья и управления безопасностью», с целью внедрить основные принципы современной методологии образования. Термин «Акватроника» («Aquatronics») введен из комбинации слов [6]:

**«АКВАТРОНИКА» = «АКВА» +  
«элекТРОНИКА»**

Акватроника – область науки и техники, основанная на системном объединении знаний в различных областях науки и техники, которое позволяет совершить качественный скачок в создании технологических процессов новых поколений и в производстве новейших видов систем и оборудования для рационального использования водных ресурсов. Объединение компетенций в области комплекса наук о водных ресурсах и их использовании с компетенциями в области компьютерной инженерии необходимо для эффективного использования современных технологий в качестве полезного инструмента для решения технических проблем в водохозяйственном комплексе.

Целью акватроники является создание интеллектуальных систем и процессов для управления водными ресурсами, обладающих качественно новыми функциями, свойствами и возможностями на основе общих тенденций развития современной науки и техники. Основой метода акватроники является синергетическое объединение структурных элементов, технологий, энергетических и информационных потоков для достижения единой цели по управлению водными ресурсами, как это показано на рис. 1 [6]. Внедрение современного методологического подхода акватроники по синергетическому объединению составляющих элементов направлено на достижение единой цели, а система подготовки кадров на ее основе обеспечивает качественно новые компетенции для высокого качества управления водными ресурсами.



Рис. 1. Структурная схема акватроники

На рис. 2 показаны необходимые ресурсы для акватроники как направления кадрового обеспечения водохозяйственного комплекса, в виде долевого участия интегрируемых дисциплин, которые показаны в материалах фирмы «ФЕСТО» (Германия) [6].

Акватроника как комплексное научно-техническое направление, находится в стадии становления, ее терминология, границы и объекты профессиональной деятельности специалистов, их классификационные признаки еще устанавливаются и уточняются. На нынешнем этапе первостепенное значение имеет описание сущности принципов построения и тенденций развития акватроники для технологических процессов СВВ с автоматическим компьютерным управлением. Соответствующие методологии семантические понятия и определения акватроники со временем определяются [7, 8]. В наиболее общем виде акватронику можно рассматривать как комплексную систему

автоматизации СВВ, независимо от того, относится она к забору пресной воды с поверхностных и подземных источников, работе насосных станций, резервуаров чистой воды, очистных сооружений СВВ для различных потребителей. Автоматизация технологических процессов в СВВ является самостоятельным компьютерным комплексом, который управляется соответствующим аппаратным и программным обеспечением на основе эксплуатационных параметров и заданных либо желаемых критериев эффективности. На стадии проектирования в результате математического моделирования определяются оптимальные параметры работы всех компонентов СВВ с учетом условий минимального потребления ресурсов, энергии, а также с обеспечением требуемых условий надежности, технической и экологической безопасности.



Рис. 2. Долевое участие интегрируемых дисциплин в %

Акватроника как научно-техническое направление служит основой методологии построения технологических процессов управления водными ресурсами как единого комплекса сооружений, электромеханических, пневматических, гидравлических, электронных элементов, датчиков состояния внешней среды и самого объекта, в том числе различной физической природы, источников энергии и исполнительных механизмов, средств компьютерной техники, между которыми осуществляется постоянный динамический обмен энергией и информацией, объединенный общей системой автоматического управления, обладающей элементами искусственного интеллекта. Аппаратное объединение в акватронике различных элементов СВВ в единые технологические модули дополняется разработкой интегрированного программного обеспечения, которое должно обеспечивать непосредственный переход от замысла проектируемой СВВ через ее математическое

моделирование к эффективному управлению технологическими процессами в режимах реального времени.

Синергетический характер интеграции составляющих элементов в объектах акватроники обеспечивает совместное действие, направленное на достижение единой цели. Принципиально важно, что в методологии акватроники энергетические и информационные потоки не просто дополняют друг друга, а объединяются так, что образованная система и технологические процессы обладают качественно новыми свойствами направленными на достижение единой цели по повышению эффективности использования водных ресурсов и энергии, повышению технической и экологической безопасности.

Создания учебного центра акватроники Научно-образовательный центр по направлению акватроники – Акватроник Фесто Центр (НОЦ АФЦ) создан в 2015 году на кафедре водоснабжения, водоотведения и санитарной техники в Академии строительства и архитектуры в рамках программы развития Крымского Федерального университета им. В.И Вернадского впервые в Российской Федерации. Целью создания НОЦ АФЦ было внедрение практически-ориентированных методов обучения и исследований основных процессов и технологий водоснабжения и водоотведения на основе современных учебных систем и компонентов «ФЕСТО» для подготовки и переподготовки высококвалифицированных специалистов отрасли, а также для разработки и трансфера инновационных технологических процессов и оборудования [6, 7], а также для решения задач по повышению эффективности СВВ. В оборудовании и программном обеспечении этого центра важное место занимают вопросы энергетической оптимизации работы оборудования. НОЦ по водоподготовке и водоотведению создан на основе учебных систем и компонентов фирмы «ФЕСТО» (Германия), поэтому в дальнейшем он получил название «Акватроник Фесто Центр» (АФЦ). Основой комплекса учебного оборудования фирмы «ФЕСТО» - EDS® «Управление водными ресурсами» является методология акватроники, что позволяет синергетически моделировать весь цикл водопользования в СВВ [9].

Учебный комплекс оборудования EDS® «Управление водными ресурсами», который установлен в АФЦ содержит четыре основные системы:

- станция очистки воды [10];
- станция водоснабжения [11];
- станция транспортировки сточных вод [12];
- станция очистки сточных вод [13].

Эти четыре системы были разработаны в том числе для изучения модуля энергетической оптимизации СВВ. При работе модуля «энергетическая оптимизация» система иллюстрирует процессы и меры, связанные с

эффективностью использования энергии при обработке и транспортировке воды и сточных вод. Все учебные компоненты могут использоваться в качестве автономного оборудования для отдельного модуля обучения либо для моделирования технологических процессов при совместной работе СВВ. Комплект оборудования можно модифицировать индивидуально путем изменения подключения, емкостей, трубопроводов и датчиков. Четыре системы могут использоваться индивидуально или соединяться трубопроводами друг с другом, при необходимости моделирования совместной работы СВВ. При этом все четыре станции соединяются в одну общую систему, как это представлено на рис. 3.

Методология акватроники направлена на практически-ориентированные методы обучения, которые позволяют моделировать весь цикл водопользования СВВ. Компоненты станций АФЦ связаны между собой гидравлическими, пневматическими, электрическими соединениями, электронными комплектующими, а также специальным программным обеспечением. Оборудование АФЦ дает возможность изучить все основные процессы работы СВВ, параметры и характеристики процессов, а также позволяют моделировать различные ситуации, с использованием разных режимов и состояний систем. Моделирование процессов СВВ выполняется в малых масштабах, поэтому реализуется без дополнительных затрат или причинения ущерба, что невозможно в реальных условиях.

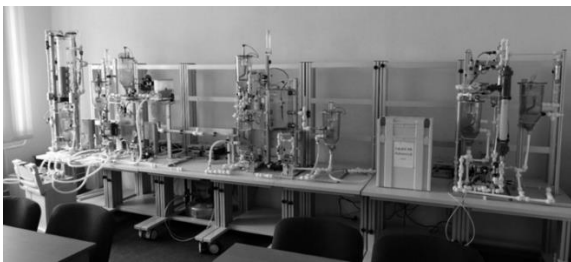
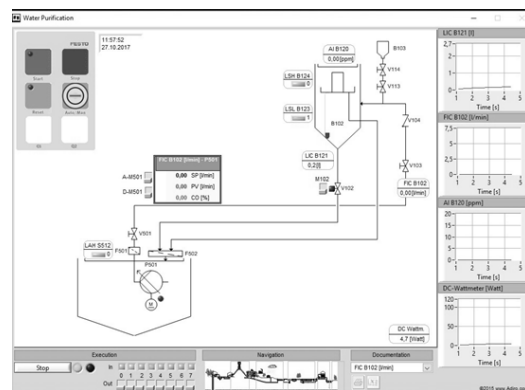


Рис. 3. Оборудование «Управление водными ресурсами» фирмы «ФЕСТО» с четырьмя объединенными системами

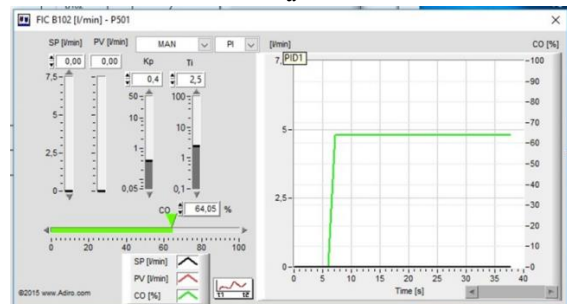
Управление оборудованием АФЦ осуществляется с помощью специальных контроллеров и программного обеспечения «FluidLab® Water Management», а также системы SCADA, которые обеспечивают компьютерное сопровождение всех лабораторных работ при совместной либо раздельной работе модулей. На экран монитора выводится принципиальная схема станции и все параметры, которые могут изучаться в конкретном модуле, как показано на рис. 4. Для управления и визуализации работы всего учебного комплекса, отдельной станции или раздела применяется интерфейсный модуль, который совместим со стандартным программным

обеспечением FluidSim-H, FluidLab-H, LabView, C++ и VisualBasic. Программное обеспечение для автоматического управления комплексом EDS® «Управление водными ресурсами» предназначен для работы со стандартным персональным компьютером с установленным пакетом Windows XP/Vista/7.

Управление и оптимизация производственных и технологических процессов является, в настоящее время, наиболее важной темой, потому что их применение позволяет повысить энергоэффективность СВВ. Обеспечение этих процессов невозможно без применения современной аппаратной базы и алгоритмов управления и оптимизации. Наиболее важными для автоматизации технологических процессов в СВВ являются операции контроля уровня, давления, скорости потока, концентрации, которые в результате обеспечивают улучшение качества, повышение эффективности и безопасности работы. С другой стороны, в СВВ возможно уменьшение потребления электрической и тепловой энергии, за счет применения систем управления энергопотреблением, которая контролирует и управляет всем оборудованием и устройствами, влияющими на потребление энергии. Используя системы контроля и управления энергопотреблением, можно обеспечить оптимальные условия работы этих систем при минимальном энергопотреблении.



а



б

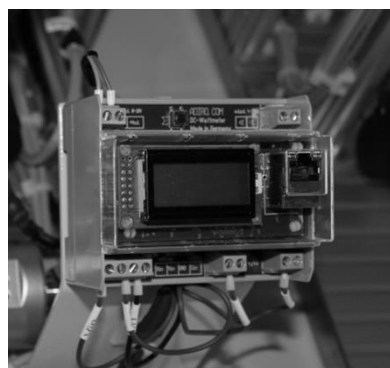
Рис. 4. Изображения с экрана монитора управляющего компьютера: а – принципиальная схема стенда, б – экран рабочих параметров компонентов модуля



Важной особенностью оборудования АФЦ является наличие современных модулей «Контроль, управления и оптимизации операций» [14] и «Оптимизация энергопотребления на водопроводных и канализационных очистных станциях» [15]. В первом модуле приведены основные методы контроля, регулирования и управления техническими системами, а во втором модуле - энергетической оптимизации представлены наиболее важные методы повышения энергетической эффективности на всех стадиях работы СВВ, позволяющие уменьшить потребление энергии и ресурсов за счет оптимизации режимов работы. Специальный модуль комплекса НОЦ АФЦ позволяет выполнять моделирование по технологии управления работой гидравлических и аэродинамических машин. Изучение модулей контроля, управления и оптимизации энергопотребления, позволяет разрабатывать энергетическую концепцию оптимизации СВВ, которая устанавливает измеримые цели и конкретные меры их достижения. Поэтому учебные системы и компоненты НОЦ АФЦ также являются материально-технической основой для повышения квалификации и переподготовки специалистов отрасли.

Применение этих модулей позволяет использовать оборудование АФЦ для измерения и анализа потребления электро-энергии в СВВ, а также является основанием для создания стратегий энергоэффективности. Для этого система EDS® «Управление водными ресурсами» не только представляет все основные процессы работы СВВ, но и показывает эффективность использования энергии для различных устройств управления с помощью элементы интерфейсного модуля, которые показаны на рис. 6. Все источники электроснабжения имеют приборы контроля энергопотребления. Так как все компоненты станций в значительной степени соответствуют реальности и по функциональности, и дизайну, то выполнение упражнений на экспериментальной установке позволяет добиться хороших результатов и приобрести практический опыт. Ваттметр (рис. 6, а) в каждой системе и модуле выводит на экран текущее значение потребляемой мощности в или показывает величину потребленной энергии за заданный промежуток времени. В программном комплексе FluidLab® «Управление водными ресурсами» для моделирования процессов нижнее окно на правой стороне показывает фактическое энергопотребление (рис. 6, б), которое визуализируется в графической форме и цифровой.

Дооснащение НОЦ АФЦ в 2016 году выполнено за счет установки двух новых станций компании ФЕСТО по технологическим процессам очистки питьевых вод, которые позволяют моделировать очистку воды на песчаных и мембранных фильтрах [16, 17].



а



б

Рис. 5. Элементы интерфейсного модуля «Оптимизация энергопотребления»: а – ваттметр; б - экран FluidLab® «Управление водными ресурсами» при ручном управлении насоса

Станция песчаного фильтрования предназначена для изучения и моделирования процессов отделения взвешенных веществ при прохождении воды через фильтрующие слои песка и гравия с различной крупностью. Управление процессом фильтрования настраивается на компьютере с помощью прилагаемого программного обеспечения, а визуальный контроль выполняется через прозрачный корпус фильтра. Станция мембранного фильтрования предназначена для изучения и моделирования процессов микрофильтрации и ультрафильтрации, что является очень актуальным в современной водоочистке..

Для расширения и дополнения функциональных возможностей в 2017 году выполняется модернизация НОЦ АФЦ с применением 2 установок по очистке сточных вод в биореакторах в аэробных и анаэробных режимах, а также установках по моделированию нанофильтрации и гиперфильтрации, а также установки ионообмена для очистки питьевой воды, которые производятся компанией EDIBON Int (Испания) [18]. Управление стендами EDIBON осуществляется с помощью специальных

контроллеров и программного обеспечения на базе среды графического программирования LabView, Специальной разработкой компании для учебных стендов является система SCADA, которая представляет собой открытую, многофункциональную систему управления в режиме реального времени. Система может контролировать все множество датчиков и регуляторов одновременно задействованных в технологическом процессе. Все элементы управления установками постоянно контролируются с компьютера, без необходимости внесения изменений в схему подключения во время проведения исследований, а параметры технологических процессов визуализируются одновременно. Наличие открытого контроля в системе, позволяет вносить изменения в программную часть.

Технологический процесс можно моделировать, контролировать и управлять в любое время таким образом, что изменения любого параметра, согласно заложенным формулам, могут быть подробно проанализированы. Важной особенностью системы является возможность дополнительного использования для дистанционного образования облачной технологии EDIBON Cloud Learning (ECL), которая позволит обучающимся и исследователям работать с установками удаленно, находясь в любой точке за пределами университета, в другом городе или даже стране. Облачные технологии дают возможность непосредственно сотрудничать с предприятиями отрасли, а также учебными заведениями. Еще одним достоинством системы SCADA является возможность применения системы SCADA-Net (SN), которая заключается в интеграции компьютерных версий установок EDIBON в локальную сеть в различных исследовательских центрах. Эта система позволяет просматривать и контролировать несколько различных лабораторных установок удаленно, с любого компьютера, интегрированного в эту локальную сеть, через компьютер, подключенный к устройству. Кроме того, число возможных пользователей, которые могут одновременно работать с одной и той же единицей оборудования гораздо выше, чем при обычном способе работы, и может достигать несколько десятков исследователей. Система SN позволяет собрать во время процесса исследований и одновременно визуализировать все результаты полученные на различных единицах оборудования. Дооснащение и модернизация НОЦ АФЦ создает возможность выполнения комплекса научно-исследовательских работ по моделированию и экспериментальной очистке питьевой воды и доочистке сточных вод на современном оборудовании.

Применение методологии новой области знаний акватроники направлено на повышение рациональности использования водных и

энергетических ресурсов, которое соответствует современным требованиям целостного представления водных ресурсов, энергоэффективности, надежности, технической и экологической безопасности [19].

Внедрение этой методологии способствует проведению прикладных научных исследований, опытно-конструкторских и технологических разработок, выполнению экспериментальных проектов, обеспечивающих создание современных методик, механизмов нормативно-правового, технического, технологического и информационного обеспечения развития водных ресурсов.

**Выводы.** Важным способом формирования качественно нового подхода повышения энергетической эффективности СВВ является внедрение современной методологии акватроники, на основе целостного представления водных ресурсов, энергоэффективности, надежности, технической и экологической безопасности оборудования.

Новая область науки и техники – акватроника основана на методологии системного объединения знаний в различных областях науки и техники, которые связывают достижения в современных электронных и компьютерных системах с созданием и внедрением оборудования, технологических процессов новых поколений для рационального использования водных ресурсов.

Реализация образовательной деятельности в области акватроники на базе НОЦ АФЦ позволила создать современный образовательный и научно-исследовательский инновационный комплекс, обеспечивающий международный уровень кадрового обеспечения водохозяйственного комплекса, на основе практически ориентированной подготовки, переподготовки и повышения квалификации специалистов по водоснабжению и водоотведению.

Компоненты учебного комплекса оборудования АФЦ позволяют изучить все основные технологические процессы СВВ, параметры и характеристики режимов работы, а также позволяют моделировать различные ситуации, с использованием разных параметров и состояний систем.

Специальные модули комплекса АФЦ позволяют выполнять моделирование по технологии управления работой гидравлических и аэродинамических машин, а также по оптимизации технологических процессов СВВ. Внедрение этих модулей АФЦ является наиболее современным методом повышения энергетической эффективности на всех стадиях работы СВВ, потому что позволяет уменьшить потребление энергии и ресурсов за счет оптимизации режимов управления.

**Л и т е р а т у р а**

1. Key World Energy Statistics. 2012. OECD/IEA. – 82 с.
2. I. A. Bashmakov. 2007. Three Laws of Energy Transitions. Energy Policy. – 112 с.
3. Ю.А. Матросов. 2008. Энергосбережение в зданиях. Проблемы и пути решения. НИИСФ РААСН. М. – 86 с.
4. Николенко И.В. 2017. Акватроника – взгляд в будущее// Тезисы четвертой Крымской международной конференции «Методология безопасности среды жизнедеятельности», Симферополь. - С. 59 – 60.
5. Николенко И.В. 2017. Акватроника - эффективный путь управления водными ресурсами// Материалы I Всероссийской междисциплинарной научно-практической конференции «Крымская инициатива – экологическая безопасность регионов», Симферополь. - С. 96 – 99.
6. Turnkey Projects – for Science technology and education. 2013// Festo Didactic Global Project Solutions DC-ES. - Germany. - 18 p.
7. Николенко И.В., Салиев Э.И. 2016. Моделирование систем водоснабжения и водоотведения с применением учебного оборудования «Акватроник Фесто Центр»// Материалы IX международной научно-практической конференции «Строительство в прибрежных регионах», Сочи. - С. 187 – 191.
8. Николенко И.В., Салиев Э.И., Крымов Р.С. 2016. Применение модуля энергетической оптимизации Акватроник Фесто Центр для повышения энергоэффективности систем водоснабжения и водоотведения// Строительство и техногенная безопасность. Сб. научных трудов АСиА. – Симферополь. – вып. 57. – С. 67 – 76.
9. T. Schwab, M. Groß, J. Strittmatter. EDS® - Water Management. 2013// Festo Didactic GmbH & Co. KG. - Denkendorf, Germany. - 81 p.
10. Water treatment. 2013/M. Groß, Ch. Klippstein, P. Maurer, Y. Salazar, T. Schwab, K. Treffry-Goatley, J. Voortman, Ch. Wehlers// Festo Didactic GmbH & Co. KG. - Denkendorf, Germany. - 48 p.
11. Water supply. 2013 /M. Groß, P. Maurer, Y. Salazar, T. Schwab, K. Treffry-Goatley, Ch. Wehlers// Festo Didactic GmbH & Co. KG. - Denkendorf, Germany. - 76 p.
12. Wastewater disposal, 2014/ M. Groß, Ch. Klippstein, P. Maurer, Y. Salazar, T. Schwab// Festo Didactic GmbH & Co. KG. - Denkendorf, Germany. - 48 p.
13. Wastewater treatment. 2014 / M. Groß, Ch. Klippstein, P. Maurer, Y. Salazar, T. Schwab, K. Treffry-Goatley, J. Voortman// Festo Didactic GmbH & Co. KG. - Denkendorf, Germany. - 68 p.
14. Monitoring, controlling and optimising operations. 2013/ M. Groß, Y. Salazar, T. Schwab, J. Strittmatter// Festo Didactic GmbH & Co. KG. - Denkendorf, Germany. - 62 p.
15. Energy optimisation in water and wastewater treatment plants. 2014/ M. Groß, P. Maurer, Y. Salazar, T. Schwab, J. Strittmatter// Festo Didactic GmbH & Co. KG. - Denkendorf, Germany. - 100 p.
16. Rapid sand filtration. 2015/ P. Maurer, Y. Salazar, Th. Schwab, Z. A. Shariff// Festo Didactic GmbH & Co. KG. - Denkendorf, Germany. - 54 p.
17. Membrane filtration. 2015// K. Treffry-Goatley, Ch. Wehlers, P. Maurer, Th. Schwab, Z. A. Shariff // Festo Didactic GmbH & Co. KG. - Denkendorf, Germany. - 62 p.
18. Нововведения в инженерно-техническом образовании/Основной каталог EDIBON. Электронный

ресурс: режим доступа: <http://www.edibon.com/ru/area/130-environment/132-environment-water-treatment> (дата обращения 02.11.2017 г.)

19. Николенко И.В. 2017. Акватроника – новое направление кадрового обеспечения во-дохозяйственного комплекса// Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. – №11 – С. 4 - 13

**R e f e r e n c e s**

1. Key World Energy Statistics. 2012. OECD / IEA. - 82 sec.
2. I. A. Bashmakov. Three Laws of Energy Tran-sitions. Energy Policy. - 112 sec.
3. Yu.A. The sailors. 2008. Energy saving in buildings. Problems and solutions. NIISF RAASN. M. - 86 pp.
4. Nikolenko I.V. 2017. Akvatronika - a glance into the future // Theses of the fourth Crimean international conference "Methodology of safety of vital activity", Simferopol. - P. 59 - 60.
5. Nikolenko I.V. 2017. Akvatronika - an effective way of water resources management. Proceedings of the 1st All-Russia Interdisciplinary Scientific and Practical Conference "Crimean Initiative - Ecological Safety of Regions", Simferopol. - P. 96 - 99.
6. Turnkey Projects - for Science technology and education. 2013 // Festo Didactic Global Project Solutions DC-ES. - Germany. - 18 p.
7. Nikolenko IV, Saliev E.I. 2016. Modeling of water supply and wastewater systems using educational equipment "Aquatronic Festo Center" // Materials of the IX International Scientific and Practical Conference "Construction in Coastal Regions", Sochi. - P. 187 - 191.
8. Nikolenko IV, Saliev EI, Krymov RS 2016. Application of the energy optimization module Aquastronik Festo Center for Improving the Energy Efficiency of Water Supply and Sanitation Systems // Construction and Technogenic Security. Sat. scientific works ASiA. - Simferopol. - вып. 57. - P. 67 - 76.
9. T. Schwab, M. Groß, J. Strittmatter. EDS® - Wa-ter Management. 2013 // Festo Didactic GmbH & Co. KG KG. - Denkendorf, Germany. - 81 p.
10. Water treatment. 2013 / M. Groß, Ch. Klippstein, P. Maurer, Y. Salazar, T. Schwab, K. Treffry-Goatley, J. Voortman, Ch. Wehlers // Festo Didactic GmbH & Co. KG. KG. - Denkendorf, Germany. - 48 p.
11. Water supply. 2013 / M. Groß, P. Maurer, Y. Sala-zar, T. Schwab, K. Treffry-Goatley, Ch. Wehlers // Festo Di-dactic GmbH & Co. KG. KG. - Denkendorf, Germany. - 76 p.
12. Wastewater disposal, 2014 / M. Groß, Ch. Klipp-stein, P. Maurer, Y. Salazar, T. Schwab // Festo Didactic GmbH & Co. KG. KG. - Denkendorf, Germany. - 48 p.
13. Wastewater treatment. 2014 / M. Groß, Ch. Klipp-stein, P. Maurer, Y. Salazar, T. Schwab, K. Treffry-Goatley, J. Voortman // Festo Didactic GmbH & Co. KG. KG. - Denkendorf, Germany. - 68 p.
14. Monitoring, controlling and optimizing operations. 2013 / M. Groß, Y. Salazar, T. Schwab, J. Strittmatter // Festo Didactic GmbH & Co. KG. KG. - Denkendorf, Germany. - 62 p.
15. Energy optimization in water and wastewater treat-ment plants. 2014 / M. Groß, P. Maurer, Y. Salazar, T. Schwab, J. Strittmatter // Festo Didactic GmbH & Co. KG; KG. - Denkendorf, Germany. - 100 p.
16. Rapid sand filtration. 2015 / P. Maurer, Y. Salazar, Th. Schwab, Z. A. Shariff // Festo Didactic GmbH & Co. KG. KG. - Denkendorf, Germany. - 54 p.
17. Membrane filtration. 2015 // K. Treffry-Goatley, Ch. Wehlers, P. Maurer, Th. Schwab, Z. A. Shariff // Festo Di-dactic GmbH & Co. KG. KG. - Denkendorf, Germany. - 62 p.

18. Innovations in engineering education / Main catalog EDIBON. Electronic resource: access mode: <http://www.edibon.com/en/area/130-environment/132-environment-water-treatment> (date of circulation 02.11.2017)

19. Nikolenko I.V. 2017. Akvatronika - a new direction of staffing of the water-farm complex // Water purification. Water treatment. Water supply. - No. 11 - P. 4 – 13

**Nikolenko Ilya, Saliev Enver**

**APPLICATION OF AQUATRONICS METHODOLOGY FOR INCREASING THE EFFICIENCY OF WATER SUPPLY AND WATER TREATMENT SYSTEMS**

*The methodology of a new field of science and technology - Aquatronics, which is based on the systemic association of knowledge in various fields of science and technology is described. It is presented that the distinctive feature of aquatronic is the joint and interrelated consideration of consumption of water and energy resources, both joint and interrelated processes. It is established that the pumping equipment is one of the world's largest electricity consumers, and increasing its energy efficiency is an important direction in improving water supply and sanitation systems. The methodology of aquatronics significantly increases the effectiveness of measures aimed at saving water and energy resources. The possibilities of the scientific and educational center "Aquatronic Festo Center", created on the basis of the training systems and components of the firm "FESTO" for managing and optimizing the energy consumption of the production processes of the water supply and drainage systems are presented.*

**Key words:** *energy efficiency, energy saving, water supply, water disposal, optimization, management.*

**Николенко Илья** Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, Академия строительства и архитектуры Республика Крым, г. Симферополь.

**Nikolenko Ilya** Crimean Federal University. IN AND. Vernadsky, Academy of Construction and Architecture, Republic of Crimea, Simferopol.

**E-mail:** [nikoshi@mail.ru](mailto:nikoshi@mail.ru)

**Салиев Энвер** Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, Академия строительства и архитектуры Республика Крым, г. Симферополь.

**Saliev Enver** Crimean Federal University. IN AND. Vernadsky, Academy of Construction and Architecture, Republic of Crimea, Simferopol

**Рецензент: Сёмин Дмитрий Александрович**, д. т. н., профессор кафедры «Гидрогазодинамика» ГОУ ВПО ЛНР «Луганский национальный университет имени Владимира Даля», г. Луганск.

*Статья подана 27.11.2017*

УДК 62-82

## ХАРАКТЕРИСТИКИ ГИДРОПРИВОДА ПРИ ДРОССЕЛЬНОМ СПОСОБЕ РЕГУЛИРОВАНИЯ С ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКОЙ ДРОССЕЛЯ

Бугаенко В.В., Брюховецкая Е.В.

## CHARACTERISTICS OF THE HYDRAULIC ACTUATOR AT THE THROTTLE WAY OF REGULATION WITH CONSECUTIVE INSTALLATION OF THE THROTTLE

Bugayenko V.V., Bryukhovetskaya E.V.

*Важным этапом проектирования гидропривода является выбор способа регулирования скорости выходного звена. Приведенные в различных источниках подходы к определению характеристик гидропривода при дроссельном способе регулирования с последовательным расположением дросселя не дают полного представления о характеристиках гидропривода во всём диапазоне изменения параметра регулирования и нагрузки. Предложен подход к оценке характеристик гидропривода при дроссельном регулировании, с последовательно установленным дросселем, основанный на использовании совмещённых характеристик насоса, переливного клапана и дросселя. В результате проведенных расчётов, получены нагрузочные характеристики гидропривода, определена область значений эффективности данного способа регулирования гидропривода во всём диапазоне изменения параметра регулирования и нагрузки.*

**Ключевые слова:** насос, дроссель, клапан, гидродвигатель, давление, нагрузка, скорость, расход жидкости.

**Введение.** Широкое использование гидроприводов в различных отраслях промышленности определяется рядом их существенных преимуществ перед другими типами приводов. Применение гидропривода позволяет реализовать большие усилия при ограниченных размерах гидродвигателей, преобразовать вращательное движение в возвратно-поступательное, обеспечивает высокое быстродействие, защиту от перегрузок. Важнейшим преимуществом гидропривода является возможность бесступенчатого регулирования скорости движения выходного звена в широком диапазоне значений.

При проектировании гидропривода возникает вопрос о выборе способа регулирования. Для принятия обоснованного решения необходимо иметь информацию о характеристиках гидропривода при различных способах

регулирования. Одним из часто применяемых способов является дроссельный способ регулирования. Дроссельный способ регулирования предполагает использование относительно не дорогих гидромашин и малогабаритной аппаратуры. При дроссельном способе регулирования возможны два принципиально разные варианта, отличающиеся местом установки дросселя: - параллельно гидродвигателю и последовательно с гидродвигателем. Характеристики гидропривода при использовании различных способов установки дросселя также имеют существенные различия. Особый интерес представляют характеристики гидропривода при установке дросселя последовательно с гидродвигателем. Представленные в литературе [1, 2, 3, 4] зависимости не вполне согласуются с режимами работы элементов гидросистемы при изменении нагрузки на выходном звене гидропривода и изменении параметра регулирования. В литературе [1, 2] приведена зависимость скорости движения

поршня гидроцилиндра от нагрузки

$$v = \frac{\mu \cdot S_{dp}}{S} \sqrt{\frac{2}{\rho} \left( p_n - \frac{F}{S} \right)}, \quad (1)$$

где  $v$  – скорость поршня;

$\mu$  – коэффициент расхода дросселя;

$S_{dp}$  – площадь проходного отверстия дросселя;

$S$  – эффективная площадь поршня;

$\rho$  – плотность рабочей жидкости;

$p_n$  – давление на выходе насоса;

$F$  – усилие на штоке гидроцилиндра.

На основании формулы (1) построены графики нагрузочных характеристик (рис. 1).

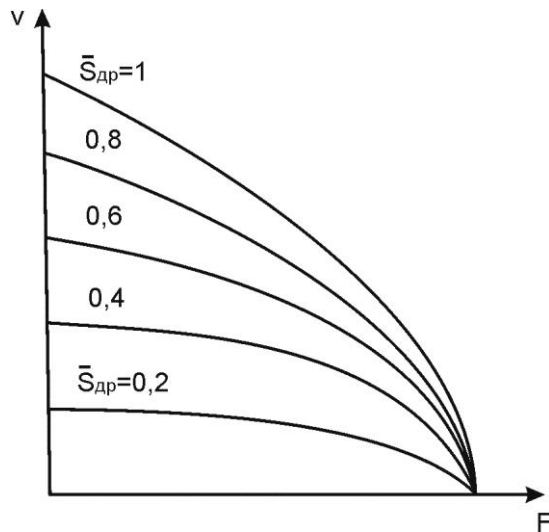


Рис. 1. Нагрузочные характеристики гидропривода при последовательном включении дросселя

По виду графиков можно сделать вывод, что расчёт нагрузочных характеристик выполнен в предположении постоянной величины давления на выходе насоса. В действительности величина давления на выходе насоса, при фиксированной площади проходного сечения дросселя, зависит от нагрузки на штоке гидроцилиндра, а расход рабочей жидкости, поступающей в гидроцилиндр, зависит от давления на выходе насоса, характеристики переливного клапана и давления его настройки. Все эти параметры функционально связаны между собой соответствующими зависимостями.

В литературе [1] приведен в анализ эффективности гидропривода с дроссельным регулированием при последовательном включении дросселя с введением понятия «КПД процесса управления  $\eta_{n.y}$ ».

$$\eta_{n.y} = \frac{p_2 Q_2}{p_n Q_n} \quad (2)$$

где  $p_2$  - перепад давления на гидроцилиндре;

$Q_2$  - расход жидкости через гидроцилиндр;

$Q_n$  - подача насоса.

Далее для анализа КПД процесса управления был осуществлён переход к безразмерным величинам

$$\bar{p}_2 = \frac{p_2}{p_n} = \frac{p_2 S}{p_n S} = \frac{F}{F_{\max}} = \bar{F} \quad (3)$$

$$\bar{v} = \frac{v}{v_{\max}} = \frac{v S}{v_{\max} S} = \frac{Q_2}{Q_n} = \bar{Q}_2 \quad (4)$$

Максимальная скорость поршня определялась при условии равенства нулю нагрузки  $F = 0$  и максимальной площади проходного отверстия дросселя  $S_{dp} = S_{dp, \max}$  из равенства (1)

$$v_{\max} = \mu \frac{S_{dp, \max}}{S} \sqrt{\frac{2}{\rho} p_n} \quad (5)$$

В результате было получено соотношение для КПД процесса управления

$$\eta_{n.y} = \frac{p_2 Q_2}{p_n Q_n} = \frac{p_2 S v}{p_n S v_{\max}} = \frac{F}{F_{\max}} \frac{v}{v_{\max}} = \bar{F} \bar{v} = \bar{p}_2 \bar{Q}_2 \quad (6)$$

Выражение для относительной скорости поршня было получено в предположении постоянства коэффициента расхода дросселя при изменении площади его отверстия из равенств (1) и (5)

$$\bar{v} = \frac{v}{v_{\max}} = \bar{S}_{dp} \sqrt{1 - \bar{F}} = \bar{S}_{dp} \sqrt{1 - \bar{p}_2} = \bar{Q}_2 \quad (7)$$

$$\bar{S}_{dp} = \frac{S_{dp}}{S_{dp, \max}}$$

где  $\bar{S}_{dp}$  - относительная площадь отверстия дросселя.

Из равенства (7) получено выражение для относительной нагрузки

$$\bar{F} = \bar{p}_2 = 1 - \left( \frac{\bar{v}}{\bar{S}_{dp}} \right)^2 \quad (8)$$

Выражение для КПД процесса управления в двух вариантах были получены из равенств (6), (7) и (6), (8)

$$\eta_{n.y} = \bar{S}_{dp} \sqrt{1 - \bar{p}_2} \quad (9)$$

$$\eta_{n.y} = \bar{v} \left( 1 - \left( \frac{\bar{v}}{\bar{S}_{dp}} \right)^2 \right) \quad (10)$$

По полученным соотношениям были построены графики изменения КПД процесса управления в зависимости от относительной скорости  $\bar{v}$  (рис. 2) и относительной нагрузки  $\bar{F}$  (рис. 3).

Такой подход к анализу КПД процесса управления является неудачным в части выбора масштабов при переходе к безразмерным величинам. Так при определении относительной нагрузки  $\bar{F}$ , равенство (3), величина максимальной нагрузки на штоке равна произведению давления на

выходе насоса на площадь поршня  $F_{max} = p_n S$ , но давление на выходе насоса однозначно определяется нагрузкой на штоке при фиксированной площади отверстия дросселя. Максимальная величина нагрузки будет иметь место при максимальном давлении  $P_n$ , что является фиксированной величиной для конкретной системы гидропривода.

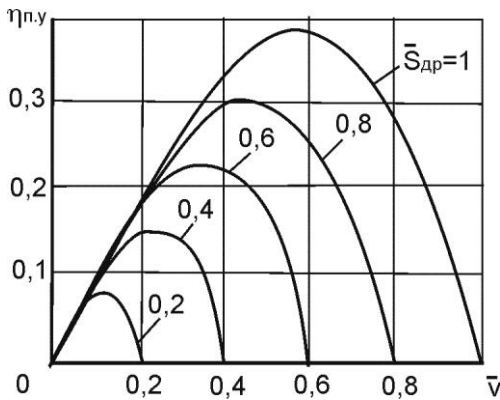


Рис. 2. Зависимость КПД процесса управления от относительной скорости поршня

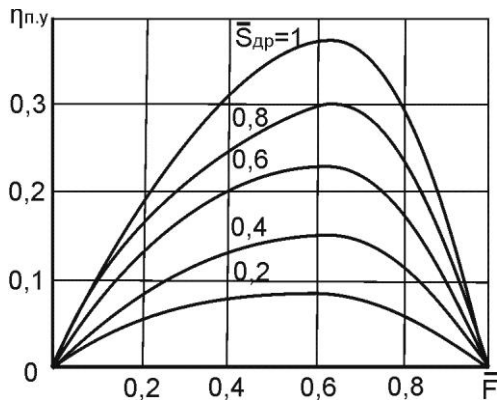


Рис. 3. Зависимость КПД процесса управления от относительной нагрузки на штоке

При выборе масштаба для скорости поршня, равенство (5), был выбран режим работы гидропривода при отсутствии нагрузки на штоке и максимальной величине площади отверстия дросселя. Давление на выходе насоса  $P_n$  в этом случае имеет минимальное значение, однозначно определяется характеристиками насоса, дросселя, эффективной площадью поршня гидроцилиндра и является величиной постоянной. В равенстве (1) величина давления на выходе насоса  $P_n$  однозначно зависит от нагрузки при фиксированном значении площади отверстия дросселя, то есть является величиной переменной. В связи с изложенным, равенство (7), полученное из равенств (1) и (5) нельзя признать справедливым, как и результаты полученные с его использованием.

Целью работы является формирование подхода к оценке характеристик гидропривода при дроссельном регулировании с последовательно установленным дросселем.

Изложение основных материалов. Предлагается подход к оценке характеристик гидропривода основанный на использовании совмещённых характеристик насоса, переливного клапана и дросселя.

Уравнения, связывающие подачу насоса с давлением на его выходе, можно представить в виде

$$P_n = \frac{Q_{н.и} - Q_n}{Q_{н.и} - Q_{н.ном}} \cdot P_{н.ном}, \quad (11)$$

$$Q_n = Q_{н.и} - \frac{P_n}{P_{н.ном}} (Q_{н.и} - Q_{н.ном}) \quad (12)$$

где  $Q_n$  - подача насоса;

$Q_{н.и}$  - идеальная подача насоса;

$Q_{н.ном}$  - номинальная подача насоса;

$P_n$  - давление на выходе насоса;

$P_{н.ном}$  - номинальное давление насоса.

Характеристика переливного клапана в пределах рабочего участка имеет практически линейный характер [5] и упрощённо может быть представлена в виде

$$P_{кл} = \frac{\Delta p_{кл}}{Q_{кл.ном}} \cdot Q_{кл} + P_{настр.кл}, \quad (13)$$

$$Q_{кл} = \frac{P_{кл} - P_{настр.кл}}{\Delta p_{кл}} \cdot Q_{кл.ном}, \quad (14)$$

где  $P_{кл}$  - давление перед клапаном;

$\Delta p_{кл}$  - изменение давления в диапазоне расходов

от  $Q_{кл.мин}$  до  $Q_{кл.ном}$ ;

$Q_{кл}$  - текущее значение расхода через клапан;

$Q_{кл.ном}$  - номинальный расход через клапан;

$P_{настр.кл}$  - давление настройки клапана.

Минимальный расход через переливной клапан имеет небольшую, по сравнению с номинальным расходом, величину [6] и, для упрощения уравнений (13) и (14), был принят равным нулю  $Q_{кл.мин} \approx 0$ .

Уравнение связывающее расход жидкости, поступающей в гидроцилиндр  $Q_2$ , с давлением на выходе насоса при  $P_n > P_{настр.кл}$  можно получить путём вычитания уравнения (14) из уравнения (12) при  $P_n = P_{кл}$

$$Q_z = Q_{н.и} - \frac{P_n}{P_{н.ном}} (Q_{н.и} - Q_{н.ном}) - \frac{P_n - P_{настр.кл}}{\Delta p_{кл}} \cdot Q_{кл.ном} \quad (15)$$

И, если решить уравнение (15) относительно  $P_n$ , то получим

$$P_n = \frac{Q_{н.и} - Q_z + \frac{P_{настр.кл}}{\Delta p_{кл}} \cdot Q_{кл.ном}}{\frac{Q_{н.и} - Q_{н.ном}}{P_{н.ном}} + \frac{Q_{кл.ном}}{\Delta p_{кл}}} \quad (16)$$

При дроссельном способе регулирования, с последовательно включённым дросселем, можно пренебречь потерями давления, происходящими в трубопроводах и гидроаппаратах, за исключением дросселя. Гидроцилиндр можно представить как особое гидравлическое сопротивление с перепадом

давления  $p_z = \frac{F}{S}$  [1]. В таком случае функциональная связь давления на выходе насоса с расходом жидкости, поступающей в гидроцилиндр, может быть представлена в виде

$$p_n = p_{др} + p_z = \frac{\rho}{2} \left( \frac{Q_z}{\mu S_{др}} \right)^2 + \frac{F}{S} \quad (17)$$

Величина пропускной способности дросселя  $\mu S_{др}$  может быть задана в долях максимальной пропускной способности  $\mu S_{др.макс}$ , которая определяется из технических характеристик дросселя

$$\mu S_{др.макс} = \frac{Q_{др.ном}}{\sqrt{\frac{2}{\rho} P_{др.ном}}} \quad (18)$$

где  $Q_{др.ном}$  - номинальный расход дросселя;

$P_{др.ном}$  - перепад давления на дросселе, соответствующий номинальному расходу при площади отверстия дросселя  $S_{др} = S_{др.макс}$ .

При частичном открытии дросселя

$$\mu S_{др} = k \mu S_{др.макс} = \frac{k Q_{др.ном}}{\sqrt{\frac{2}{\rho} P_{др.ном}}} \quad (19)$$

где  $k$  - множитель, указывающий на относительную величину площади проходного отверстия дросселя.

Принимая коэффициент расхода дросселя  $\mu$  постоянным, из равенства (17) получим

$$k = \frac{\mu S_{др}}{\mu S_{др.макс}} = \bar{S}_{др} \quad (20)$$

Тогда выражение (19) будет иметь вид

$$\mu S_{др} = \frac{\bar{S}_{др} Q_{др.ном}}{\sqrt{\frac{2}{\rho} P_{др.ном}}} \quad (21)$$

Подставляя в уравнение (17) выражение для  $\mu S_{др}$  из уравнения (21) получим

$$p_n = \frac{Q_z^2 \cdot \Delta p_{др.ном}}{\bar{S}^2 \cdot Q_{др.ном}^2} + \frac{F}{S} \quad (22)$$

Для перехода к безразмерным характеристикам примем в качестве масштаба для величины расхода жидкости идеальную подачу насоса  $Q_{н.и}$ , для давления - максимальное давление в системе гидропривода, которое принимаем равным номинальному давлению насоса  $P_{макс} = P_{н.ном}$ , для нагрузки - максимальную нагрузку, равную произведению максимального давления на площадь поршня гидроцилиндра  $F_{макс} = P_{макс} S = P_{н.ном} S$ . Полагая коэффициент расхода дросселя  $\mu$  величиной постоянной, в качестве масштаба для площади проходного отверстия дросселя примем площадь при максимальном открытии дросселя  $S_{др.макс}$ . Тогда уравнения (11), (12), (15), (16) и (22) примут вид:

$$\bar{P}_n = \frac{\bar{Q}_{н.и} - \bar{Q}_n}{\bar{Q}_{н.и} - \bar{Q}_{н.ном}} \cdot \bar{P}_{н.ном} \quad (11, a)$$

$$\bar{Q}_n = \bar{Q}_{н.и} - \frac{\bar{P}_n}{\bar{P}_{н.ном}} (\bar{Q}_{н.и} - \bar{Q}_{н.ном}) \quad (12, a)$$

$$\bar{Q}_z = \bar{Q}_{н.и} - \bar{P}_n \cdot (\bar{Q}_{н.и} - \bar{Q}_{н.ном}) - \frac{\bar{P}_n - \bar{P}_{настр.кл}}{\Delta \bar{p}_{кл}} \cdot \bar{Q}_{кл.ном} \quad (15, a)$$

$$\bar{P}_n = \frac{\bar{Q}_{н.и} - \bar{Q}_z + \frac{\bar{P}_{настр.кл}}{\Delta \bar{p}_{кл}} \cdot \bar{Q}_{кл.ном}}{\frac{\bar{Q}_{н.и} - \bar{Q}_{н.ном}}{\bar{P}_{н.ном}} + \frac{\bar{Q}_{кл.ном}}{\Delta \bar{p}_{кл}}} \quad (16, a)$$



$$\bar{p}_n = \frac{\Delta \bar{P}_{др.ном} \cdot \bar{Q}_z^2}{\bar{S}_{др}^2 \cdot \bar{Q}_{др.ном}^2} + \bar{F} \tag{22, а}$$

На рис. 4 приведены графики построенные по уравнениям (11, а), (16, а) и по уравнению (22, а) при величине относительной нагрузки  $\bar{F} = 0$  для различных значений  $\bar{S}_{др}$  в безразмерных координатах.

Графики при других значениях нагрузки  $\bar{F}$ , отличных от нуля, не приведены, чтобы избежать загромождения рисунка. Точки пересечения кривых, построенных по уравнению (15 а) с линиями, построенными по уравнениям (11 а) и (16 а) однозначно определяют величину давления на выходе насоса и расхода жидкости поступающего в гидроцилиндр.

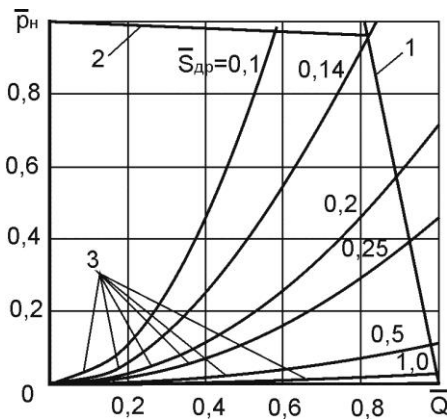


Рис. 4. Совмещённые характеристики: 1 - характеристика насоса, 2 - характеристика насоса и переливного клапана при их совместной работе, 3 - зависимость давления на выходе насоса от расхода жидкости, поступающей в гидроцилиндр при различных значениях площади отверстия дросселя и нагрузке, равной нулю

Полученные путём совместного решения уравнений (11) и (22) при  $P_n < P_{настр.кл}$ , и уравнений (16) и (22) при  $P_n > P_{настр.кл}$  значения расхода, поступающего в гидроцилиндр  $Q_z$ , для ряда фиксированных значений нагрузки на штоке, в диапазоне от  $F = 0$  до  $F = F_{макс}$ , были использованы для построения графиков зависимости скорости движения поршня  $v = \frac{Q_z}{S}$  от нагрузки в безразмерных координатах (рис. 5). При построении графиков в качестве масштаба для нагрузки была использована максимальная нагрузка, соответствующая максимальному давлению в системе гидропривода, которое принято равным номинальному давлению насоса

$F_{макс} = p_{макс} S = p_{н.ном} S$ , в качестве масштаба скорости была принята максимальная скорость поршня  $v_{макс}$  при равной нулю нагрузке  $F = 0$  и максимальной площади отверстия дросселя  $S_{др} = S_{др.макс}$ .

Анализ полученных результатов показывает, что при значениях относительной площади отверстия дросселя от  $\bar{S}_{др} = 1$  до  $\bar{S}_{др} = 0,2$ , включительно, график зависимости скорости поршня от нагрузки на штоке состоит из двух участков, имеющих различный характер. Рассмотрим график зависимости скорости поршня от нагрузки при  $\bar{S}_{др} = 1$ . При увеличении нагрузки от  $\bar{F} = 0$  до  $\bar{F} = 0,94$  скорость поршня уменьшается от значения  $\bar{v} = 1$  до  $\bar{v} = 0,82$ , практически по линейному закону (этот участок на графике (рис. 5) изображён штриховой линией).

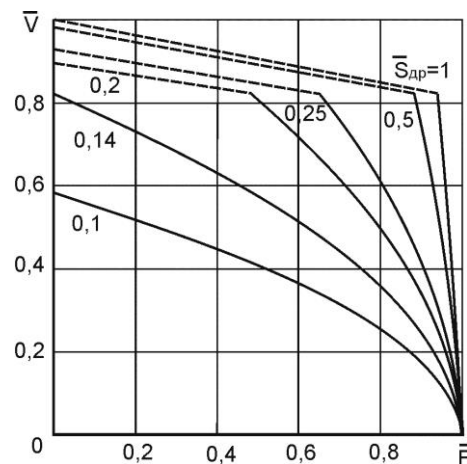


Рис. 5. Зависимость скорости движения поршня гидроцилиндра от нагрузки в безразмерных координатах

При дальнейшем увеличении нагрузки скорость поршня резко снижается до  $\bar{v} = 0$ . Это объясняется тем, что потери давления на дросселе, при полностью открытом отверстии и номинальном расходе, имеют небольшую величину, порядка 0,25 МПа [6]. Это давление значительно ниже значений давления обычно используемых в системах гидропривода, переливной клапан при этом давления закрыт и снижение скорости движения поршня обусловлено увеличением утечек в насосе с увеличением давления, вызванного возрастанием нагрузки. Режим дроссельного способа регулирования реализуется только на круто падающей ветви графика (сплошная линия на графике, рис. 5), когда, вызванное ростом нагрузки, увеличение давления приведёт к открытию переливного клапана. При полностью открытом дросселе открытие переливного клапана происходит

при значении нагрузки близком к предельной величине ( $\bar{F} = 0,94$ ) (рис. 5). Такой же вид имеет зависимость скорости поршня от нагрузки при уменьшении площади проходного отверстия дросселя до значения  $\bar{S}_{др} = 0,2$ , с той лишь разницей, что переливной клапан открывается при более низких значениях нагрузки. Это объясняется тем, что с уменьшением площади отверстия дросселя потери давления на нём растут и давление в системе, равное давлению настройки переливного клапана, достигается при меньшей нагрузке на штоке. При уменьшении площади отверстия дросселя до  $\bar{S}_{др} = 0,14$ , давление в системе достигает величины давления настройки переливного клапана при нагрузке  $\bar{F} = 0$  (рис. 4), график зависимости скорости поршня от нагрузки имеет одну ветвь (рис. 5) и дроссельный способ регулирования реализуется во всём диапазоне изменения нагрузки от  $\bar{F} = 0$  до  $\bar{F} = 1$ . При меньших значениях площади отверстия дросселя, потери давления на дросселе превосходят величину давления настройки переливного клапана при нагрузке  $\bar{F} = 0$ , что приводит к снижению величины скорости поршня (рис. 5). С уменьшением площади отверстия дросселя жёсткость нагрузочных характеристик возрастает. Расчёты проводились с использованием реальных характеристик насоса, переливного клапана и дросселя. Следует отметить, что при других сочетаниях характеристик насоса, переливного клапана и дросселя значения относительной площади отверстия дросселя  $\bar{S}_{др}$  для характерных режимов работы гидропривода могут иметь значения, несколько отличающиеся от приведенных в статье, при сохранении качественного характера приведенных зависимостей.

Анализируя графики приведенные на (рис.1) [1], с учётом полученных результатов, можно сделать вывод, что подобный характер кривых может иметь место только при малых значениях площади отверстия дросселя, когда потери давления на дросселе велики и давление на выходе насоса превышает давление настройки переливного клапана при равной нулю нагрузке. В этом случае, в связи с большими потерями давления на дросселе, КПД процесса управления, а значит и КПД гидропривода, будет иметь низкие значения.

Воспользуемся выражением (2) для оценки КПД процесса управления, полагая КПД гидроцилиндра  $\eta_c = 1$ . Выполненные расчёты, при совместном решении уравнений (11), (22) и (16), (22), позволяют оценить величину КПД процесса управления с учётом изменения давления на выходе насоса, в зависимости от нагрузки на штоке, во всём диапазоне изменения нагрузки, скорости движения

поршня и изменения площади отверстия дросселя. На рис. 6 и рис. 7 приведены графики зависимости КПД процесса управления от нагрузки и скорости движения поршня, соответственно, в безразмерных координатах. В качестве масштаба для нагрузки использована максимальная нагрузка, соответствующая максимальному давлению в системе гидропривода, которое принято равным номинальному давлению насоса  $F_{макс} = p_{макс}S = p_{н.ном}S$ , в качестве масштаба скорости была принята максимальная скорость поршня  $v_{макс}$  при равной нулю нагрузке  $F = 0$  и максимальной площади проходного отверстия дросселя  $S_{др} = S_{др.макс}$ .

Участки кривых, которые соответствуют режимам реализации дроссельного способа регулирования ( $p_n > p_{настр.кл}$ ), на графиках изображены сплошной линией. Линия 0 – А (рис. 5) отделяет область режимов, при которых давление на выходе насоса превосходит давление настройки переливного клапана (область реализации дроссельного регулирования), от общей области изменения режимных параметров гидропривода.

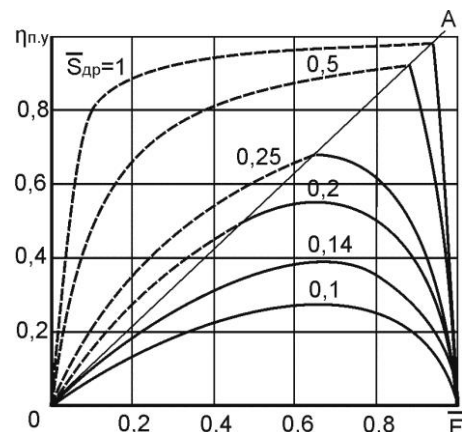


Рис. 6. Зависимость КПД процесса управления от нагрузки на штоке

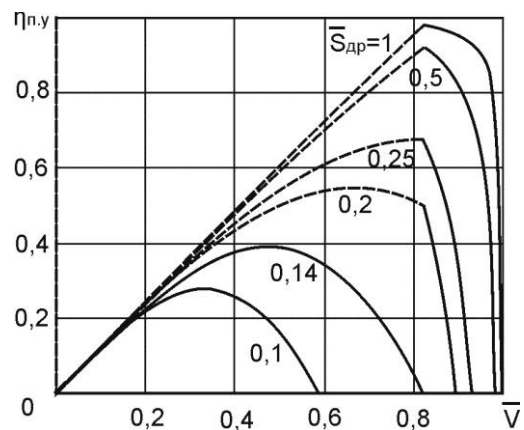


Рис. 7. Зависимость КПД процесса управления

от скорости поршня

Анализ полученных результатов позволяет сделать вывод о том, что КПД процесса управления при последовательном включении дросселя может иметь достаточно высокие значения при рациональном сочетании параметров насоса, гидродвигателя и дросселя. Результаты, приведенные в литературе (рис. 2, 3) [1, 2, 3], обусловлены неудачным выбором масштабов при переходе к безразмерным параметрам, что привело к ошибочным выводам.

**Выводы.** 1. Проведенный анализ существующего подхода к оценке нагрузочных характеристик гидропривода при дроссельном способе регулирования с последовательной установкой дросселя показал, что не было учтено изменение функциональной связи между давлением на выходе насоса, и расходом жидкости, поступающей в гидроцилиндр, которое происходит при достижении величины давления  $P_n = P_{настр.кл}$ , происходящее с ростом нагрузки.

2. Предложен подход к определению характеристик гидропривода с дроссельным способом регулирования, при последовательном включении дросселя, основанный на использовании совмещённых характеристик насоса, переливного клапана и дросселя.

3. Проведенный анализ характеристик гидропривода с дроссельным способом регулирования, при последовательном включении дросселя, на основании предложенного подхода, показал, что КПД процесса управления  $\eta_{n,y}$  может достигать достаточно высоких значений, существенно превышающих приведенное в литературе [1, 2, 3] значение  $\eta_{n,y} = 0,385$  при рациональном сочетании характеристик насоса, переливного клапана и дросселя.

### Л и т е р а т у р а

1. Гидравлика, гидромашин и гидроприводы: Учебник для машиностроительных вузов /Т. М. Башта, С. С. Руднев, Б. Б. Некрасов и др. 2-е изд., перераб. – М.:Машиностроение, 1982. – 423 с.

2. Гидроприводы и гидропневмоавтоматика станков /В. А. Федоренко, М. Н. Педченко, А. Ф. Пичко и др. Под ред. В. А. Федорца. – К.: Вища школа, Головное изд-во, 1987. – 375 с.

3. Навроцкий К. Л. Теория и проектирование гидро- и пневмоприводов: Учебник для студентов вузов по специальности «Гидравлические машины, гидроприводы и гидропневмоавтоматика». – М.: Машиностроение, 1991. – 384 с.

4. Гидравлика и гидропривод / В. Г. Гейер, В. С. Дулин, А. Г. Боруменский и др. Учебник для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. М.: Недра, 1981. - 295 с.

5. Наземцев А. С. Пневматические и гидравлические приводы и системы. Часть 2. Гидравлические приводы и системы. Основы. Учебное пособие/А. С. Наземцев, Д. Е. Рыбальченко. М.: Форум, 2007. – 304 с.

6. Свешников В. К. Станочные гидроприводы. Справочник./В. К. Свешников, А. А. Усов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1988. – 512 с.

### References

1. Hydraulics, hydrocars and hydraulic actuators: The textbook for machine-building higher education institutions / T.M. Bashta, S.S. Rudnev, B.B. Nekrasov, etc. the 2nd prod., reslave. – М.: Mechanical engineering, 1982. – 423 pages.

2. Hydraulic actuators and hydropneumoautomatic equipment of machines/VA. Fedorets, M.N. Pedchenko, A.F. Pichko, etc. Under the editorship of V.A. Fedorts. – To.: Vishcha school, Head publishing house, 1987. – 375 pages.

3. Navrotsky K. L. Theory and design gidro- and pneumatic actuators: The textbook for students of higher education institutions on specialty "Hydraulic Machines, Hydraulic Actuators and Hydropneumoautomatic Equipment". – М.: Mechanical engineering, 1991. – 384 pages.

4. Hydraulics and hydraulic actuator / V.G. Geyer, V.S. Dulin, A.G. Borumensky, etc. The textbook for higher education institutions. – 2nd prod., reslave. and additional M.: Subsoil, 1981. - 295 pages.

5. Nazemtsev A. S. Pneumatic and hydraulic drives and systems. Part 2. Hydraulic drives and systems. Bases. Manual/Ampere-second. Nazemtsev, D.E. Rybalchenko. M.: Forum, 2007. – 304 pages.

6. Sveshnikov V.K. Machine hydraulic actuators. Reference book. / V.K. Sveshnikov, A.A. Usov. – 2nd prod., reslave. and additional – М.: Mechanical engineering, 1988. – 512 pages.

### Bugayenko V. V., Bryukhovetskaya E. V. CHARACTERISTICS OF THE HYDRAULIC ACTUATOR AT THE THROTTLE WAY OF REGULATION WITH CONSECUTIVE INSTALLATION OF THE THROTTLE

*Important design stage of a hydraulic actuator is the choice of a way of regulation of speed of an output link. The approaches to definition of characteristics of a hydraulic actuator given in various sources at a throttle way of regulation with a consecutive arrangement of a throttle don't give complete idea of characteristics of a hydraulic actuator in all the range of change of parameter of regulation and loading. Approach to assessment of characteristics of a hydraulic actuator at throttle regulation, with consistently established throttle, based on use of the combined characteristics of the pump, overflow valve and a throttle is offered. In result of the carried-out calculations, load characteristics of a hydraulic actuator are received, the area of values of efficiency of this way of regulation of a hydraulic actuator in all the range of change of parameter of regulation and loading is defined.*

**Key words:** pump, throttle, valve, hydraulic engine, pressure, loading, speed, liquid consumption.

**Бугаенко Виктор Васильевич**, к.т.н., доцент кафедры «Гидрогазодинамика» ГОУ ВПО ЛНР «Луганский национальный университет имени Владимира Даля» г. Луганск.

**E-mail:** victorvas49@gmail.com

**Bugayenko Victor Vasilyevich**, PhD in Technological Sciences, associate professor of Hidrogazodinamika department of Public Educational Institution of Higher Professional Training LPR "The Luhansk national university of Vladimir Dahl" Luhansk.

**E-mail:** victorvas49@gmail.com

**Брюховецкая Елена Васильевна**, студентка магистратуры ГОУ ВПО ЛНР «Луганский национальный университет имени Владимира Даля» по кафедре «Гидрогазодинамика» г. Луганск.

**Bryukhovetskaya Elena Vasilyevna**, the student of a magistracy of Public Educational Institution of Higher Professional Training LPR "The Luhansk national university

of Vladimir Dahl" on Gidrogazo-dinamika department Luhansk.

**Рецензент: Сёмин Дмитрий Александрович**, доктор технических наук, профессор кафедры «Гидрогазодинамика» ГОУ ВПО ЛНР «Луганский национальный университет имени Владимира Даля» г. Луганск.

*Статья подана 30.11.2017*

УДК 621.979-82

## СНИЖЕНИЕ ПОТЕРЬ ЭНЕРГИИ ПРИ РАБОТЕ ПРЕССОВ С НАСОСНО-АККУМУЛЯТОРНЫМ ГИДРОПРИВОДОМ

Гойдо М.Е., Бодров В.В., Багаутдинов Р.М.

## REDUCTION ENERGY LOSSES DURING OPERATION OF PRESSES WITH PUMP-AND-ACCUMULATOR HYDRAULIC DRIVE

Goydo M.E., Bodrov V.V., Bagautdinov R.M.

*Предложено для снижения потерь энергии при работе пресса с насосно-аккумуляторным гидроприводом при фиксированном давлении в гидроаккумуляторе использовать подключение гидроаккумулятора к напорной линии гидропривода через дросселирующий гидрораспределитель. Показано, что посредством гидропреобразователя, работающего как мультипликатор давления с автоматически изменяемым коэффициентом преобразования, возможна рекуперация потенциальной энергии упругих деформаций, накопленной к концу рабочего хода пресса в его металлоконструкциях и в рабочей жидкости. Для вертикального пресса посредством указанного гидропреобразователя при опускании подвижной траверсы возможна также рекуперация потенциальной энергии положения траверсы. Рассмотрена возможность использования гидропреобразователя, работающего как мультипликатор расхода и обеспечивающего получение необходимого расхода рабочей жидкости за счет энергии жидкости, вытесняемой из подъемных гидроцилиндров под действием силы тяжести поднятой траверсы, для наполнения рабочих гидроцилиндров вертикального гидравлического пресса при холостом ходе подвижной траверсы вниз.*

**Ключевые слова:** насосно-аккумуляторный гидропривод пресса; гидропреобразователь; разгрузка рабочих гидроцилиндров от давления; опускание подвижной траверсы; наполнение рабочих гидроцилиндров во время холостого хода; рекуперация энергии.

Мощные гидравлические прессы усилием 10 МН и более широко используются в промышленности для производства и правки заготовок и готовых изделий из различных материалов.

В настоящее время наибольшее распространение имеют прессы с насосно-аккумуляторным гидроприводом. Во время выполнения операций с использованием рабочей жидкости высокого давления, поступающей из гидроаккумулятора, коэффициент полезного действия (КПД) такого гидропривода при типовом

его исполнении в значительной степени зависит от разности давления  $p_a$  в гидроаккумуляторе и давления  $p_{гд}$  в напорной полости гидродвигателя, посредством которого выполняется текущая рабочая операция, и увеличивается при уменьшении этой разности (до определенного предела  $\Delta p$ ) [1]. В связи с этим одним из путей снижения потерь энергии при работе насосно-аккумуляторного гидропривода является изменение давления  $p_a$  таким образом, чтобы разность  $(p_a - p_{гд})$  была как можно меньше, но не меньше значения  $\Delta p$ .

Одно из известных технических решений, позволяющих изменять в процессе работы насосно-аккумуляторного гидропривода давление  $p_a$  в соответствии с изменениями давления  $p_{гд}$  в напорной полости гидродвигателя, заключается в использовании в составе гидропривода двух или более секций гидроаккумуляторов с различными уровнями давления [2].

При небольшом требуемом маневровом объеме рабочей жидкости по отношению к номинальной вместимости пневмогидравлического аккумулятора возможно согласование давления  $p_a$  с давлением  $p_{гд}$  в напорной полости гидродвигателя путем изменения степени заполнения аккумулятора рабочей жидкостью [2].

Известно также техническое решение, заключающееся в изменении давления газа в пневмогидравлическом аккумуляторе с помощью вспомогательных гидробаллонов, газовые полости которых соединены с газовой полостью аккумулятора, а в жидкостных полостях соответствующим образом изменяется количество жидкости [2].

При использовании всего лишь одного уровня давления  $p_a$  в жидкостной полости гидроаккумулятора потери энергии в процессе работы насосно-аккумуляторного гидропривода в определенной степени можно уменьшить, если в гидрелинии, соединяющей жидкостную полость гидроаккумулятора с напорной гидрелинией

привода, установить дросселирующий гидрораспределитель (рис. 1) и посредством его осуществлять тонкую регулировку расхода рабочей жидкости, поступающей к гидродвигателю, а грубую регулировку расхода осуществлять путем изменения количества насосов, от которых жидкость непосредственно подается к гидродвигателю. При таком исполнении гидропривода при поступлении рабочей жидкости к гидродвигателю от насосной установки или одновременно от гидроаккумулятора и от насосной установки давление в напорном канале насосной установки оказывается близким к давлению в напорной полости гидродвигателя [1].

По окончании рабочего хода подвижной траверсы гидравлического пресса жидкость в рабочих полостях рабочих гидроцилиндров и присоединенных к ним трубопроводах находится под высоким давлением, а металлоконструкции пресса (например, колонны) — в соответствующем напряженном состоянии. В силу упругих деформаций: напряженных металлоконструкций пресса, находящейся под высоким давлением жидкости и стенок каналов, в которые она заключена, — в перечисленных компонентах пресса к концу рабочего хода накапливается значительная потенциальная энергия  $\mathcal{E}_{\text{пот}}$ . В некоторых случаях энергия  $\mathcal{E}_{\text{пот}}$  может быть соизмерима с полезной работой, произведенной прессом, и даже превышать ее. Согласно результатам расчетов, представленных в работе [3], величина этой энергии, например, для пресса силой 100 МН при давлении в конце рабочего хода, равном 31,5 МПа, составляет порядка 1200 кДж. При этом существенная часть (более половины) рассматриваемой энергии приходится на потенциальную энергию давления  $\mathcal{E}_{\text{сж}}$  сжатой жидкости.

При существующем в настоящее время исполнении гидроприводов прессов энергия  $\mathcal{E}_{\text{пот}}$  преобразуется в тепловую энергию в процессе разгрузки полостей рабочих гидроцилиндров от давления по окончании рабочего хода пресса и, в конечном итоге, теряется. Потери энергии  $\mathcal{E}_{\text{пот}}$  на каждом рабочем цикле пресса приводят к снижению его КПД и осложняют решение проблемы поддержания требуемого температурного режима работы гидросистемы пресса.

На вертикальных гидравлических прессах холостой ход подвижной траверсы вниз («свободное опускание» траверсы) осуществляется преимущественно под действием силы тяжести самой траверсы и движущихся вместе с ней частей пресса (например, плунжеров рабочих гидроцилиндров и закрепленной на траверсе штамповой оснастки).

Скорость движения подвижной траверсы при ее холостом ходе вниз регулируется путем изменения площади проходного сечения сливного клапана подъемных гидроцилиндров (или другого дросселирующего гидроаппарата, установленного в

гидролинии, соединяющей подъемные гидроцилиндры с гидробаком).

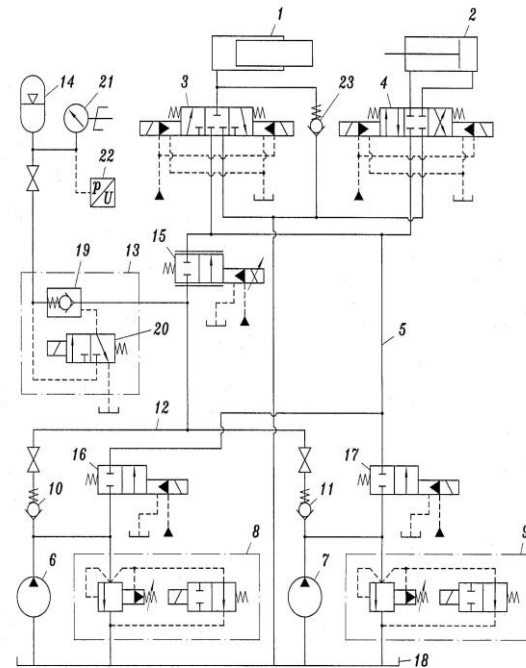


Рис. 1. Принципиальная схема насосно-аккумуляторного гидропривода с подключением гидроаккумулятора к напорной гидролинии привода через дросселирующий гидрораспределитель (патент RU № 2421637):

1, 2 — гидроцилиндры; 3, 4, 16, 17, 20 — направляющие гидрораспределители; 5 — напорная гидролиния; 6, 7 — насосы; 8, 9 — предохранительные клапаны; 10, 11, 23 — обратные клапаны; 12 — общий напорный коллектор насосов; 13 — автоматический запорный клапан; 14 — пневмогидравлический аккумулятор; 15 — дросселирующий гидрораспределитель; 18 — гидробак; 19 — гидрозамок; 21 — электроконтактный манометр; 22 — датчик давления

При отсутствии в составе гидропривода пресса уравнивающих гидроцилиндров вся потенциальная энергия подвижной траверсы пресса при ее холостом ходе вниз теряется, поскольку частично расходуется на совершение работы против сил трения в подвижных парах направляющих траверсы и ее гидроцилиндров привода, а в основном преобразуется в тепловую энергию жидкости, вытесняемой из подъемных гидроцилиндров (подъемных полостей рабочих гидроцилиндров) в гидробак гидросистемы через сливной клапан подъемных гидроцилиндров (или другой дросселирующий гидроаппарат, установленный в гидролинии, соединяющей подъемные гидроцилиндры с гидробаком, и используемый для регулирования скорости движения подвижной траверсы при ее холостом ходе вниз).

Вышеуказанных неоправданных потерь энергии в значительной степени можно избежать,

если использовать в составе насосно-аккумуляторного гидропривода пресса гидропреобразователь, работающий как мультипликатор давления с автоматически изменяемым коэффициентом преобразования [4].

На рис. 2 показана принципиальная гидравлическая схема вертикального пресса с таким гидропреобразователем.

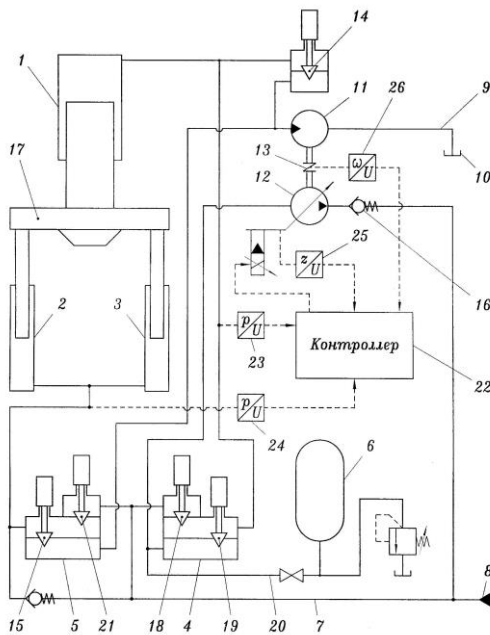


Рис. 2. Упрощенная принципиальная схема гидропривода подвижной траверсы вертикального пресса с гидропреобразователем (патент RU № 2515779): 1 — рабочий гидроцилиндр; 2, 3 — подъемные гидроцилиндры; 4 — гидрораспределитель рабочих гидроцилиндров; 5 — гидрораспределитель подъемных гидроцилиндров; 6 — бак наполнения; 7 — напорная гидролиния; 8 — насосно-аккумуляторная станция; 9 — сливная гидролиния; 10 — гидробак; 11 — гидромотор; 12 — насос; 13 — соединительная муфта; 14, 15, 18, 19, 21 — управляемые клапаны; 16 — обратный клапан; 17 — подвижная траверса; 20 — наполнительно-сливная гидролиния; 22 — контроллер; 23, 24 — датчики давления; 25 — датчик положения регулирующего органа насоса 12; 26 — датчик угловой скорости вращения валов гидромотора 11 и насоса 12

Гидропреобразователь состоит из объемных гидромотора 11 и насоса 12, валы которых соединены между собой посредством муфты 13.

При этом входной канал гидромотора 11 посредством управляемого двухлинейного двухпозиционного клапана 14 соединен с рабочей полостью рабочего гидроцилиндра 1 и посредством управляемого двухлинейного двухпозиционного клапана 15 — с рабочими полостями подъемных гидроцилиндров 2, 3, а его выходной канал — со сливной гидролинией 9. Входной канал насоса 12 гидравлически соединен с баком наполнения 6, а его выходной канал посредством обратного клапана 16 — с напорной гидролинией 7.

На рис. 2 в качестве примера показан случай, когда гидромотор 11 выполнен нерегулируемым, а насос 12 — регулируемым с пропорциональным электрическим управлением. Возможен вариант исполнения гидропреобразователя, когда насос 12 является нерегулируемым, а гидромотор 11 — регулируемым с пропорциональным электрическим управлением.

Электрический узел управления насоса 12 соединен с выходом входящего в состав системы управления пресса контроллера 22, входы которого соединены с выходами: датчика давления 23 в рабочей полости рабочего гидроцилиндра 1, датчика давления 24 в рабочих полостях подъемных гидроцилиндров 2, 3, датчика положения 25 регулирующего органа насоса 12 и датчика 26 угловой скорости вращения валов гидромотора и насоса.

Для осуществления работы гидропреобразователя в режиме мультипликатора давления при текущем значении давления  $p_{гн}$  во входном канале гидромотора 11, которое при пренебрежении гидравлическими потерями равно давлению в рабочей полости рабочего гидроцилиндра 1, если открыто проходное сечение клапана 14, или давлению в рабочих полостях подъемных гидроцилиндров 2, 3, если открыто проходное сечение клапана 15, текущее значение  $M_{гм}$  вращающего момента на валу гидромотора должно быть не меньше значения  $M_n$  вращающего момента, который требуется создать на валу насоса в тот же момент времени  $t$  с тем, чтобы обеспечить вращение валов обеих указанных гидромашин с определенной угловой скоростью  $\omega$ , то есть должно выполняться условие:

$$M_{гм} \geq M_n \text{ при } t = idem \quad (1)$$

где  $M_{гм} = (p_{гн} - p_{сл})q_{гм}\eta_{гм}/(2\pi); \quad (2)$

$$M_n = (p_{пит} - p_{б.н})q_n/(2\pi\eta_n). \quad (3)$$

$q_{гм}, \eta_{гм}$	текущие значения соответственно рабочего объема и гидромеханического КПД гидромотора 11;
$q_n, \eta_n$	текущие значения соответственно рабочего объема и гидромеханического КПД насоса 12;
$p_{пит}$	давление в напорной гидролинии 7;
$p_{б.н}$	давление в баке наполнения 6;
$p_{сл}$	давление в сливной гидролинии ( $p_{сл} < p_{б.н}$ ).

Согласно выражениям (1), (2) и (3) в процессе работы гидропреобразователя в вышеуказанном режиме должно поддерживаться следующее соотношение между значениями рабочих объемов гидромотора и насоса путем изменения рабочего объема той из этих гидромашин, которая является регулируемой:

$$q_n \leq (p_{гц} - p_{сл}) q_{гм} \eta_{гм} \eta_n / (p_{инт} - p_{б.н}). \quad (4)$$

Поскольку текущее значение давления в соответствующих гидроцилиндрах (рабочем 1 и подъемных 2, 3) пресса контролируется с помощью датчика давления, сигнал с выхода которого поступает на соответствующий вход контроллера, то в контроллере на основании соотношения (4) производится вычисление необходимого в данный момент времени для осуществления работы гидропреобразователя предельного значения рабочего объема регулируемой гидромашины (при котором упомянутое соотношение имеет вид равенства) и на основании зависимости рабочего объема этой гидромашины от положения (координаты)  $z$  ее регулирующего органа определяется требуемое значение координаты  $z_T$ .

Для того, чтобы регулирующий орган регулируемой машины занял положение с координатой  $z_T$ , на ее электрический узел управления необходимо подать электрический сигнал  $U$  вида

$$U = U_T + k_{ос.м} (z_T - z_{ф}) + k_{инт.м} \int_0^t (z_T - z_{ф}) dt, \quad (5)$$

где

$U_T$	электрический сигнал, необходимый для установки регулирующего органа регулируемой гидромашины в положение с координатой $z_T$ в соответствии с экспериментальными данными в некоторой тестовой ситуации;
$z_{ф}$	текущее фактическое значение координаты регулирующего органа регулируемой гидромашины, контролируемое с помощью соответствующего датчика положения, сигнал с выхода которого поступает на соответствующий вход контроллера;
$k_{ос.м}$ $k_{инт.м}$	коэффициенты усиления;
$t$	время.

Однако, установка регулирующего органа регулируемой гидромашины в положение с координатой  $z_T$  не гарантирует желаемый ход протекания процесса преобразования (рекуперации) энергии посредством гидропреобразователя, поскольку вычисление значения  $z_T$  производится с использованием соотношения (4) при некоторых среднестатистических значениях КПД  $\eta_{гм}$ ,  $\eta_n$ , которые в процессе работы гидромашин (гидромотора и насоса) изменяются в достаточно широких пределах.

В связи с этим управляющий электрический сигнал  $U_{упр}$ , подаваемый с выхода контроллера на электрический узел управления регулируемой гидромашины, в процессе рекуперации энергии формируется с учетом заданного  $\omega_3$  и фактического  $\omega_{ф}$  текущих значений угловой скорости  $\omega$  вращения

валов гидромотора и насоса (с использованием отрицательной обратной связи по угловой скорости):

$$U_{упр} = U_T + k_{ос.м} (z_T - z_{ф}) + k_{инт.м} \int_0^t (z_T - z_{ф}) dt + k_{ос} (\omega_3 - \omega_{ф}) + k_{инт} \int_0^t (\omega_3 - \omega_{ф}) dt, \quad (6)$$

где  $k_{ос}$ ,  $k_{инт}$  - коэффициенты усиления.

При этом величина  $\omega_3$  задается с помощью контроллера, а величина  $\omega_{ф}$  контролируется с помощью датчика 26 угловой скорости, сигнал с выхода которого поступает на соответствующий вход контроллера.

В результате, процесс преобразования (рекуперации) энергии посредством гидропреобразователя происходит вне зависимости от значения давления в гидроцилиндрах пресса. Более того, благодаря использованию отрицательной обратной связи по угловой скорости вращения валов гидромотора и насоса, этот процесс протекает при заданной угловой скорости вращения валов гидромашин, что позволяет регулировать расход рабочей жидкости из гидроцилиндров. Потери энергии в данном случае являются минимальными и определяются, главным образом, лишь совершенством используемых стандартных гидромашин (гидромотора и насоса).

Энергия жидкости высокого давления, поданной насосом 12 в гидроаккумулятор насосно-аккумуляторной станции 8 при выполнении холостого хода вниз подвижной траверсы 17 и при разгрузке рабочего гидроцилиндра 1 от давления по окончании рабочего хода пресса, используется для совершения полезной работы при выполнении подъема и рабочего хода подвижной траверсы 17, в результате чего повышается КПД пресса.

Часть потенциальной энергии поднятой подвижной траверсы пресса при ее холостом ходе вниз может быть использована для обеспечения заполнения рабочих полостей рабочих гидроцилиндров жидкостью, если в качестве устройства наполнения применить гидропреобразователь, работающий как мультипликатор расхода и обеспечивающий получение необходимого расхода рабочей жидкости за счет энергии жидкости, вытесняемой из подъемных гидроцилиндров [5]. При этом необходимость в использовании в составе гидросистемы пресса бака наполнения (с соответствующим объемом рабочей жидкости) отпадает, что в целом ряде случаев упрощает компоновку гидросистемы пресса и снижает стоимость гидросистемы.



Вышеупомянутый гидропреобразователь может быть выполнен как поступательного, так и вращательного движения (рис. 3).

Основной характеристикой гидропреобразователя является коэффициент преобразования  $i$ , представляющий собой отношение большего характерного геометрического размера гидропреобразователя к меньшему ( $i > 1$ ). При этом характерным геометрическим размером для поступательного гидропреобразователя является эффективная площадь поршня (плунжера), а для вращательного гидропреобразователя — характерный (или рабочий) объем гидромашин.

Для обеспечения качественного (без нарушения сплошности жидкости) заполнения полостей рабочих гидроцилиндров при холостом ходе подвижной траверсы пресса вниз со скоростью  $v_{xx}$  расход  $Q_{pc}$  рабочей жидкости, поступающей в указанные полости, должен составлять

$$Q_{pc} = A_{pc} v_{xx}, \quad (7)$$

где  $A_{pc}$  - суммарная эффективная площадь плунжеров рабочих гидроцилиндров подвижной траверсы пресса.

При движении подвижной траверсы пресса вниз со скоростью  $v_{xx}$  расход  $Q_{nc}$  рабочей жидкости, вытесняемой из подъемных гидроцилиндров, равен

$$Q_{nc} = A_{nc} v_{xx}, \quad (8)$$

где  $A_{nc}$  - суммарная эффективная площадь плунжеров подъемных гидроцилиндров подвижной траверсы пресса.

В идеальном случае без учета утечек и перетечек рабочей жидкости и ее сжимаемости с точки зрения решаемой задачи желательно, чтобы выполнялось условие:

$$Q_{pc} = i Q_{nc}. \quad (9)$$

Тогда с учетом выражений (7) и (8) коэффициент преобразования  $i$  гидропреобразователя должен составлять:

$$i = A_{pc} / A_{nc}. \quad (10)$$

Однако, соотношение (10) не является необходимым при выборе параметров гидропреобразователя, поскольку в связи с наличием допусков на характерные размеры рабочих и подъемных гидроцилиндров и гидропреобразователя, утечек и перетечек рабочей жидкости и ее сжимаемости проблематично обеспечить поступление в рабочие полости рабочих гидроцилиндров с выхода гидропреобразователя жидкости при ее расходе, строго равном значению,

требуемому согласно выражению (10) при текущей скорости  $v_{xx}$  холостого хода подвижной траверсы вниз.

Если расход жидкости в рабочие полости рабочих гидроцилиндров с выхода гидропреобразователя меньше значения, требуемого согласно выражению (7), что для идеализированного случая равносильно выполнению соотношения:

$$i < A_{pc} / A_{nc},$$

то для исключения нарушения сплошности жидкости в указанных полостях при холостом ходе подвижной траверсы вниз в них дополнительно должна подаваться жидкость при расходе  $Q_{доп}$ , равном в первом приближении

$$Q_{доп} = (A_{pc} - i A_{nc}) v_{xx}.$$

Более предпочтительным является вариант, когда расход жидкости в рабочие полости рабочих гидроцилиндров с выхода гидропреобразователя превышает значение, требуемое согласно выражению (7), что для идеализированного случая равносильно выполнению соотношения:

$$i > A_{pc} / A_{nc}.$$

В этом случае для опускания подвижной траверсы рабочие полости рабочих гидроцилиндров должны быть дополнительно соединены с питательным баком гидросистемы пресса, например, посредством клапана, который используется для разгрузки рабочих гидроцилиндров от повышенного давления по окончании рабочего хода. При этом в рабочих полостях рабочих гидроцилиндров в процессе холостого хода подвижной траверсы вниз (благодаря гарантированному сливу некоторого количества жидкости) возможно поддержание заданного давления  $p_{pc}$ , несколько превышающего атмосферное и достаточного для исключения выделения из жидкости растворенного воздуха в количестве, ощутимо снижающем модуль упругости газожидкостной смеси, которой фактически является рабочая жидкость.

Для выполнения гидропреобразователем функции устройства наполнения рабочих полостей рабочих гидроцилиндров во время холостого хода подвижной траверсы вниз должно обеспечиваться выполнение следующего силового соотношения при максимальном установленном значении  $v_{xx \max}$  скорости  $v_{xx}$ :

$$[(R + A_{pc} p_{pc}) / A_{nc} - \Delta p_1] \eta_{гп} / i - \Delta p_2 = p_{pc}, \quad (11)$$

где

$R$	результующая сила, под действием которой происходит холостой ход подвижной траверсы вниз;
$\Delta p_1$	потери давления на участке от рабочих полостей подъемных гидроцилиндров до входной полости гидропреобразователя;
$\eta_{гп}$	гидромеханический КПД гидропреобразователя;
$\Delta p_2$	потери давления на участке от выходной полости гидропреобразователя до рабочих полостей рабочих гидроцилиндров.

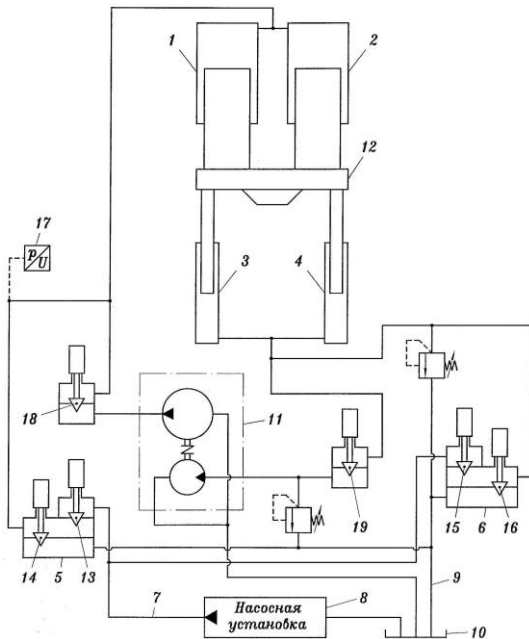


Рис. 3. Упрощенная принципиальная схема гидропривода подвижной траверсы вертикального пресса с гидропреобразователем вращательного движения (патент RU № 2598410):

1, 2 — рабочие гидроцилиндры; 3, 4 — подъемные гидроцилиндры; 5 — гидрораспределитель рабочих гидроцилиндров; 6 — гидрораспределитель подъемных гидроцилиндров; 7 — напорная гидролиния; 8 — насосная установка; 9 — сливная гидролиния; 10 — гидробак; 11 — гидропреобразователь; 12 — подвижная траверса; 13, 14, 15, 16, 18, 19 — управляемые клапаны; 17 — датчик давления

Согласно соотношению (11), чем меньше при прочих равных условиях потери давления  $\Delta p_1$  и  $\Delta p_2$ , тем больше значение коэффициента преобразования  $i$  гидропреобразователя, который может использоваться в системе наполнения пресса. Предельное максимальное значение  $i_{\text{пред}}$  коэффициента преобразования  $i$ , соответствующее случаю  $\Delta p_1 = \Delta p_2 = 0$ , составляет:

$$i_{\text{пред}} = [(R + A_{\text{рц}} p_{\text{рц}}) / A_{\text{шц}}] \eta_{\text{гп}} / p_{\text{рц}} \quad (12)$$

При выбранном значении коэффициента преобразования  $i$  на значения потерь давления  $\Delta p_1$  и  $\Delta p_2$  накладывается следующее ограничение:

$$\Delta p_2 + \Delta p_1 \eta_{\text{гп}} / i = R \eta_{\text{гп}} / (i A_{\text{шц}}) + [A_{\text{рц}} \eta_{\text{гп}} / (i A_{\text{шц}}) - 1] p_{\text{рц}} \quad (13)$$

Поскольку при холостом ходе подвижной траверсы вниз на участке от выходной полости гидропреобразователя до рабочих полостей рабочих гидроцилиндров расход рабочей жидкости существенно превышает расход рабочей жидкости на участке от рабочих полостей подъемных гидроцилиндров до входной полости гидропреобразователя, то значение потерь давления  $\Delta p_2$  целесообразно минимально ограничивать в рамках имеющихся возможностей.

Так как расходы жидкости на участках от рабочих полостей подъемных гидроцилиндров до входной полости гидропреобразователя и от выходной полости гидропреобразователя до рабочих полостей рабочих гидроцилиндров при холостом ходе подвижной траверсы вниз со скоростью  $v_{\text{хх max}}$  известны, то подбор проходных сечений труб и запорно-регулирующей гидроаппаратуры на указанных участках после определения значений  $\Delta p_1$  и  $\Delta p_2$  не составляет труда.

**Выводы.** 1. При эксплуатации насосно-аккумуляторного привода с фиксированным давлением в гидроаккумуляторе потери энергии могут быть уменьшены путем изменения исполнения гидропривода, а именно: при подключении гидроаккумулятора к напорной линии гидропривода через дросселирующий гидрораспределитель.

2. Применение в гидросистеме пресса с насосно-аккумуляторным приводом гидропреобразователя, работающего как мультипликатор давления с автоматически изменяемым коэффициентом преобразования, позволяет осуществить рекуперацию значительной части потенциальной энергии упругих деформаций при разгрузке рабочих гидроцилиндров от давления по окончании рабочего хода, а для вертикальных прессов также рекуперацию потенциальной энергии положения подвижной траверсы при ее опускании.

3. Применение в гидросистеме вертикального пресса гидропреобразователя, работающего как мультипликатор расхода, позволяет обеспечить качественное (без нарушения сплошности жидкости) заполнение рабочих полостей рабочих гидроцилиндров при холостом ходе подвижной траверсы вниз за счет потенциальной энергии поднятой траверсы и исключить необходимость в использовании в гидросистеме пресса бака наполнения.

#### Л и т е р а т у р а

1. Гойдо М.Е. Снижение потерь энергии при работе насосно-аккумуляторного гидропривода // Справочник. Инженерный журнал. — 2010. — № 10. — С. 45-49.

2. Кармацкий Ю.И., Коровин Е.А. Насосно-аккумуляторные станции. Конструкция и расчет. — М.: Машиностроение, 1965. — 344 с.

3. Добринский Н. С. Гидравлический привод прессов. М.: Машиностроение, 1975. 222 с.

4. Гойдо М.Е., Бодров В.В., Багаутдинов Р.М. Снижение потерь энергии при работе гидравлического пресса // Гидравлика. Пневматика. Приводы. — 2017. — № 1. — С. 10-11.

5. Гойдо М.Е., Бодров В.В., Багаутдинов Р.М. Об использовании потенциальной энергии поднятой траверсы вертикального пресса // Заготовительные производства в машиностроении. — 2016. — № 12. — С. 22-26.

**Goydo M.E., Bodrov V.V., Bagautdinov R.M.**  
**REDUCTION ENERGY LOSSES DURING OPERATION OF PRESSES WITH PUMP-AND-ACCUMULATOR HYDRAULIC DRIVE**

*It is suggested for reduction of energy loss during operation of presses with pump-and-accumulator hydraulic drive under constant hydraulic accumulator pressure to connect hydraulic accumulator with pressure line of hydraulic drive by means of throttling control valve.*

*It is shown, that, when working press with pump-and-accumulator hydraulic drive, by means of hydraulic transducer, operating as a pressure multiplier with an automatically variable conversion ratio, it is possible recovery of the potential energy of elastic strain, accumulated to the end of the working stroke of the press in its metal structures and in the working fluid. For vertical press by means the same hydraulic transducer at lowering the walking beam it is possible also recovery of the potential energy of the provisions of the beam.*

*It is considered the possibility of using of hydraulic transducer, which works as flow multiplier and provides the necessary working fluid flow due to fluid energy, supplanted from the lift cylinders under the gravity of raised beam, for filling of working cylinders of hydraulic vertical press during idling of walking beam down.*

**Key words:** *pump-and-accumulator hydraulic drive of press; hydraulic transducer; discharge of working hydraulic cylinder from pressure; lowering the walking beam; filling the working cylinders during idling; energy recovery.*

**Гойдо Максим Ефимович**, к.т.н. доцент, главный инженер проектов ООО «Уральский инжиниринговый центр», Россия, г. Челябинск.

**E-mail:** goido@cheltec.ru

**Gojdo Maxim Efimovich**, Ph.D. Associate Professor, Chief Project Engineer, LLC Ural Engineering Center, Russia, Chelyabinsk.

**E-mail:** goido@cheltec.ru

**Бодров Валерий Владимирович**, к.т.н., президент холдинга ООО «Уральский инжиниринговый центр», Россия, г. Челябинск.

**E-mail:** vbodrov@cheltec.ru

**Bodrov Valery Vladimirovich**, Ph.D., President of the Holding LLC "Ural Engineering Center", Russia, Chelyabinsk.

**E-mail:** vbodrov@cheltec.ru

**Багаутдинов Рамиль Мерсеитович**, генеральный директор ООО «Уральский инжиниринговый центр», Россия, г. Челябинск.

**E-mail:** бага@cheltec.ru

**Bagautdinov Ramil Merseitovich**, General Director of LLC "Ural Engineering Center", Russia, Chelyabinsk.

**E-mail:** бага@cheltec.ru

**Рецензент: Сёмин Дмитрий Александрович**, д. т. н., профессор кафедры «Гидрогазодинамика» ГОУ ВПО ЛНР «Луганский национальный университет имени Владимира Даля», г. Луганск.

*Статья подана 20. 11. 2017*

УДК. 621.22: 621.6

## СНИЖЕНИЕ ПОТЕРЬ ПЕРЕКАЧИВАЕМОЙ СРЕДЫ В ВИХРЕКАМЕРНЫХ НАГНЕТАТЕЛЯХ

Сёмин Д.А., Левашов А.Н., Левашов Я.Н., Погонина Н.А.

## ON REDUCING LOSSES OF PUMPED OVER SUBSTANCE IN VORTEX CHAMBER CHARGERS

Syomin D.A., Levashov A.N., Levashov Y.N., Pogonina N.A.

Для перекачивания сплошных сред на основе эффектов вращающихся потоков авторами предложена идея создания вихрекамерных нагнетателей. Эти струйные средства могут работать как с перекачиваемыми, так и несущими рабочими средами, агрегатное состояние может быть жидким, твердым (сыпучим) или смешанным многофазным. Приведены характеристики ВКН на несущей воздушной и перекачиваемой сыпучей среде. Результаты могут быть использованы в теплоэнергетике, сельском хозяйстве, обогащении полезных ископаемых и др. отраслях, где к нагнетателям предъявляются высокие требования по надежности и долговечности в неблагоприятных условиях эксплуатации. Определены причины потерь перекачиваемой среды и предложены методы их минимизации изменением формы канала всасывания.

**Ключевые слова:** вихрекамерный нагнетатель, радиальный диффузор, рабочие среды, потери перекачиваемой среды, минимизация потерь, физический эксперимент.

**Введение.** Исследуемые в работе устройства, названные нами вихрекамерными нагнетателями, по причине использования в их конструкции вихревой камеры в качестве базового элемента, предложены сравнительно недавно. Можно считать, что первым, кто предложил ряд конструкций этих устройств в 1980 году и их возможное использование, является Jeffrey L. Beck [1, 2].

Следует отметить, что характеристик этих устройств указанным автором не приводилось, что и побудило провести нами необходимые исследования, первые систематические результаты которых нашли отражение в работе [7] и дальнейших публикациях.

Вихрекамерные нагнетатели (ВКН) относятся к струйной технике и предназначены для перекачивания как однофазных, так и гетерогенных текучих сред. Происходящие в них физические процессы основаны на явлениях, возникающих в вихревой камере при закрученном течении. В вихрекамерных нагнетателях (ВКН) используются два основных эффекта - снижение давления близ оси

вращения и повышенное давление на периферии, т.е. на боковой стенке вихревой камеры [5]. Вихрекамерный нагнетатель (см. рис. 1) работает следующим образом.

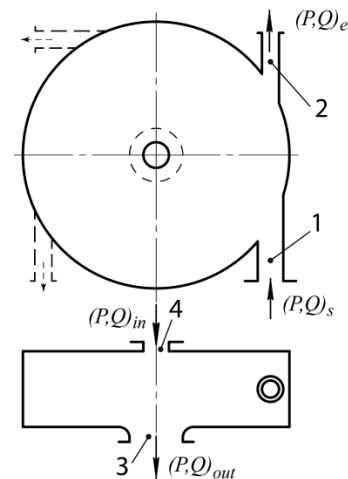


Рис.1. Схема вихрекамерного нагнетателя

В тангенциальный канал питания 1 вихревой камеры ВКН поступает энергонесущий поток с расходом  $Q_s$  под давлением  $P_s$ . В зависимости от перепада давления на камере и сопротивления сети, на которую работает нагнетатель, энергонесущий поток делится на два. Одна часть через канал нагнетания 2 с расходом  $Q_e$  поступает в сеть, а другая, двигаясь в дренажный канал 3 от периферии к центру, создает вращательное движение в камере ВКН. Вращательное движение сопровождается понижением давления  $P_{in}$  в центре камеры, за счет которого и происходит всасывание перекачиваемой среды в канал 4.

Как было показано в работе [4], при перекачивании нагнетателем сыпучего материала возможны его потери, т.к. некоторые частицы сыпучего материала уходят в дренажный канал. Это явление не желательно и нуждается в исключении

либо минимизации, поскольку снижает эффективные показатели ВКН.

**Изложение основного материала.**

Предварительный анализ физического процесса происходящего с частицей сыпучего материала поступающей в вихревую камеру позволяет предположить, что причиной указанных потерь могут служить два явления. Первое связано с так называемым «прострелом» частицы, которая имеет две компоненты скорости – осевую и окружную. Вследствие осевой компоненты, возникающей из-за разности давлений во всасывающем канале, частица движется в направлении дренажного отверстия. Второе явление связано с тем, что окружная скорость, которую частица приобретает в вихревой камере, сталкиваясь с вращающимся потоком, обуславливает центробежную силу, перемещающую частицу к периферии вихревой камеры. Если под действием указанных сил, частица не успевает в своем движении переместиться на радиус, превышающий радиус выходного отверстия, она попадает в дренажный канал. Это одна из причин потерь перекачиваемой среды. Вторая обусловлена вторичным течением на торцевых стенках вихревой камеры. Вследствие снижения давления от периферии к центру и тормозящего действия торцевых стенок, возникает течение в пограничных слоях вдоль этих стенок, направленное к центру. Этим вторичным потоком твердые частицы могут переноситься в область дренажного отверстия, если центробежная сила окажется меньше поверхностной, действующей на частицу в направлении оси камеры.

Для проведения экспериментальных исследований, с целью снижения потерь перекачиваемого ВКН сыпучего материала, была разработана установка, схема которой приведена на рис. 2.

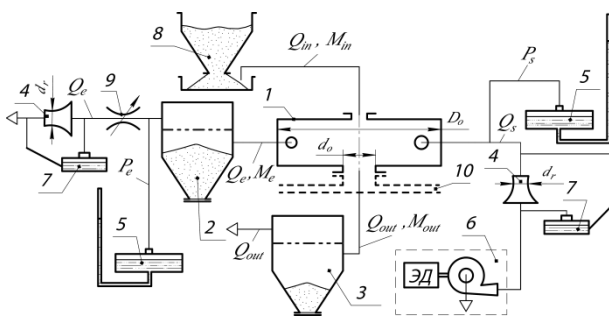


Рис. 2. Схема экспериментальной установки  
 1 – вихрекамерный нагнетатель, 2 – приемный бункер с фильтром, 3 – бункер для потерь с фильтром, 4 – расходомер, 5 – пьезометр, 6 – воздуходувка, 7 – микроманометр, 8 – загрузочный бункер, 9 – дроссель, 10 – радиальный диффузор.

Актуальность этих исследований усилили предшествующие результаты. Предложенная нами конструкция ВКН с радиальным диффузором на

выходе из дренажного отверстия, вследствие увеличения вакуума во всасывающем канале, привела к возрастанию расхода сыпучей среды через него более чем в 2 раза, при неизменных затратах мощности. Однако, наряду с этим существенно возросли и потери (см.рис.3).

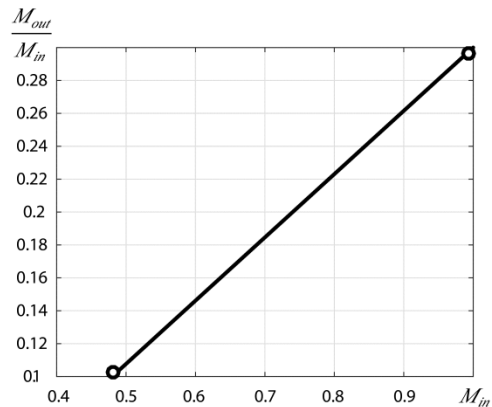


Рис. 3 Зависимость потерь сыпучего материала от расхода в канале всасывания ( $M_{in}$ ,  $M_{out}$  – массовые расходы сыпучего материала).

Из графика видно, что повышение производительности ВКН которое сопровождается увеличением скорости частичек сыпучего материала в всасывающем канале приводит к утроению потерь в дренажный канал.

Для снижения потерь авторами предложен ряд конструкций ВКН отличающихся конфигурациями всасывающего канала, приведенных на рис. 4а. Увеличивающаяся высота каждой конфигурации ставит целью продлить путь перемещения частицы от входа в вихревую камеру до дренажного отверстия с тем, чтобы она успела выйти за его пределы.

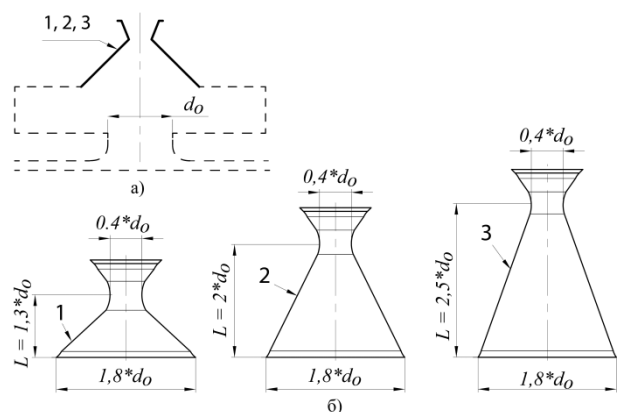


Рис. 4. Схема ВКН а) и конфигурация проточных частей канала всасывания

**Результаты экспериментов,** в которых вихрекамерным нагнетателем перекачивался с помощью воздуха речной песок, представлены ниже на рис. 5.

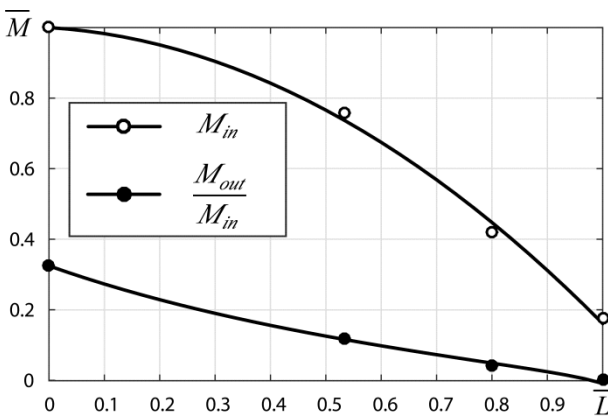


Рис. 5. Зависимость расходов  $M_{in}$  и  $M_{out}$  от высоты канала всасывания.

$M_{in}$  – массовый расход сыпучего материала,  $M_{out}$  – массовый расход сыпучего материала который уходит в дренажный канал. (крайняя левая точка на графике соответствует варианту канала всасывания при  $L = 0$ )

Из графика, представленного на рис. 5, следует, что увеличение высоты  $L$  (см. рис. 4б) приводит к существенному снижению потерь сыпучего материала в дренажный канал вплоть до нуля, однако при этом снижается и производительность нагнетателя.

#### Выводы:

1. Основной причиной потерь перекачиваемой сыпучей среды является ее «прострел» из канала всасывания в дренажный канал.

2. Предложена форма канала всасывания позволяющая снизить потери перекачиваемой сыпучей среды практически до нуля.

3. Снижение удельных потерь перекачиваемой сыпучей среды сопровождается снижением производительности вихрекамерного нагнетателя.

Сохранение и увеличение производительности вихрекамерного нагнетателя при нулевых потерях является задачей следующих исследований.

#### Литература

1. Метод и устройства вихревого эжектирования. Патент США / Джеффри Л. Бэк. – №4449862, заявл. 22.12.1980; опубл. 22.05.1984
2. Вихревой инжекционный багерный аппарат и метод. Патент США / Джеффри Л. Бэк. – №4409746, заявл. 05.02.1981; опубл. 18.10.1983
3. Системы и методы сдерживания подводных утечек нефти и газа. Патент США / Джеффри Л. Бэк. – №8887813, заявл. 29.06.2011; опубл. 05.06.2012
4. Роговой А.С. Совершенствование энергетических характеристик струйных нагнетателей дис. ... канд. техн. наук: 05.05.17 / А.С. Роговой. — Луганск, 2007. — 193с.
5. Вихревые исполнительные устройства: В 2-х частях. Ч.2 Однородные рабочие среды: монография. / Сёмин Д.А. [и др.] – Луганск: 2009. – 256 с.
6. Идельчик И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям. – Москва: Машиностроение, 1975. – 560 с.

7. Сёмин Д.А. Особенности рабочего процесса и характеристики безроторных центробежных насосов. / Д.А. Сёмин, А.С. Роговой // Procedia Engineering. — 2012, с. 231–237.

8. Суслов А.Д. Вихревые аппараты. / А.Д. Суслов [и др.] – Москва: Машиностроение, 1985. – 256 с.

#### References

1. Vortex injection method and apparatus. USA Patent / Jeffrey L. Beck. – №4449862, appl. 22.12.1980; publ. 22.05.1984
2. Vortex injection dredging apparatus and method. USA Patent / Jeffrey L. Beck. – №4409746, appl. 05.02.1981; publ. 18.10.1983
3. Underwater oil and gas leak containment systems and methods. USA Patent / Jeffrey L. Beck. – №8887813, appl. 29.06.2011; publ. 05.06.2012
4. Rogovy A.S. Refinement of power charecteristics for jet charger dis. ... kand. tehn. nauk: 05.05.17 / A.S. Rogovy. — Lugansk, 2007. — 193 p.
5. Vortex actuators: 2 parts. P.2 Homogeneous working environment: monograph / Syomin D.A. [et al.] – Lugansk: 2009. – 256 p.
6. Idelchik I.E. Flows resistance reference book. – Moscow: Machine building, 1975. – 560 p.
7. Syomin D.A. Features of a working process and characteristics of irrotational centrifugal pumps. / D.A. Syomin, A.S. Rogovy // Procedia Engineering. — 2012, Pages 231–237.
8. Vortex apparatus. / A.D. Suslov [et al.] – Moscow: Machine building, 1985. – 256 p.

Syomin D.A., Levashov A.N., Levashov Y.N., Pogonina N.A.

#### ON REDUCING LOSSES OF PUMPED OVER SUBSTANCE IN VORTEX CHAMBER CHARGERS

*For the pumping of continuous media on the basis of the effects of rotating streams, the authors propose the idea of creating vortex chamber chargers. These jet devices can work with both pumped and non-pumped working substances, in liquid, solid (particulate) or mixed multi-phase. VCC characteristics with lifting air and pumped over particulate substance are stated. The results can be applied in heat-and-power engineering, agriculture, minerals processing and other fields, where chargers require high reliability and operating in unfavorable conditions. The reasons of pumped over substance losses are identified and methods of their minimization through changing the form of an absorbing channel are offered.*

**Key words:** vortex chamber charger, radial diffuser, working substances, pumped over substance losses, minimization of losses, physical experiment.

Сёмин Дмитрий Александрович, д. т. н., профессор кафедры «Гидрогазодинамика» ГОУ ВПО ЛНР «Луганский национальный университет имени Владимира Даля», г. Луганск.

Syomin Dmitry Alexandrovich, Doc. of Tech. Sc., Prof. of the Chair “Fluid and gas dynamics” State Educational Establishment of Higher Professional Education “Lugansk Vladimir Dahl National University”.

**E-mail:** sdaa261@ukr.net

**Левашов Артём Николаевич**, ассистент кафедры «Гидрогазодинамика» ГОУ ВПО ЛНР «Луганский национальный университет имени Владимира Даля», г. Луганск

**Levashov Artem Nikolaevich**, a chair assistant of “Fluid and gas dynamics” State Educational Establishment of Higher Professional Education “Lugansk Vladimir Dahl National University”.  
**E-mail:** boschcdi@mail.ru

**Левашов Ярослав Николаевич**, преподаватель-стажер кафедры «Гидрогазодинамика» ГОУ ВПО ЛНР «Луганский национальный университет имени Владимира Даля», г. Луганск.

**Levashov Yaroslav Nikolaevich**, a trainee of the Chair “Fluid and gas dynamics” State Educational Establishment of

Higher Professional Education “Lugansk Vladimir Dahl National University”.

**E-mail:** xpioneerx@mail.ru

**Погонина Надежда Александровна**, студент кафедры «Гидрогазодинамика» ГОУ ВПО ЛНР «Луганский национальный университет имени Владимира Даля», г. Луганск

**Pogonina Nadezhda Aleksandrovna**, a student of the Chair “Fluid and gas dynamics” State Educational Establishment of Higher Professional Education “Lugansk Vladimir Dal National University”.

**Рецензент: Куликов Ю.А.** проф., д.т.н. Луганский национальный университет им. В. Даля.

*Статья подана 15.12.2017*

УДК 331.108

## АНАЛИЗ СРЕДСТВ И МЕТОДОВ УПРАВЛЕНИЯ ПЕРСОНАЛОМ ПРЕДПРИЯТИЯ

Варнавская Д.С.

## ANALYSIS TOOLS AND METHODS FOR ENTERPRISE STAFF MANAGEMENT

Varnavskaya D.S.

*Данная статья посвящена анализу основных подходов к управлению организацией, а именно таких вопросов, как: сущность, принципы и методы управления персоналом; функции и задачи системы управления персоналом. Определены факторы, оказывающие воздействие на людей в организации.*

*Проведенное исследование позволяет утверждать, что повышение эффективности функционирования организации является одной из актуальнейших проблем современности.*

**Ключевые слова:** персонал, кадры, организация, управление, функции и задачи системы управления персоналом, методы управления персоналом.

**Введение.** В наше время одним из самых перспективных направлений развития экономической мысли является концепция управления персоналом.

Управление персоналом занимает ведущее место в системе управления предприятием и считается основным фактором его экономического успеха. Управление персоналом как наука взяло на вооружение достижения из таких областей знаний, как развитие трудовых ресурсов, конфликтология, лидерство, психология личности, организация труда, прежде всего труда руководителей.

Наука и практика выработали инструментарий (методы) изучения состояния действующей системы управления персоналом организации, построения, обоснования и реализации новой системы.

Возникновение и развитие теории управления персоналом связаны с именами таких известных ученых, как В. Метол, Л. Бейрд, Дж. Дуглас, Д. Хант, С. Питерс, Паскаль, С. Струмилин, В. Гойло, Р. Капелюшников [3, 5, 6, 8].

**Постановка задачи.** Целью исследования в статье является рассмотрение и анализ методов и средств управления персоналом предприятий.

**Результаты.** Система управления персоналом обеспечивает непрерывное совершенствование

методов работы с кадрами на основе использования достижений отечественной и зарубежной науки и передового производственного опыта. Сущность управления персоналом, включая наемных работников, работодателей и других владельцев предприятия, заключается в установлении организационно-экономических, социально-психологических и правовых отношений субъекта и объекта управления. В основе этих отношений лежат принципы, методы и формы воздействия на интересы, поведение и деятельность работников в целях максимального использования их. Человек в системе менеджмента является ведущим звеном всех процессов, из которых складывается деятельность предприятия.

Основу концепции управления персоналом в настоящее время составляют: возрастающая роль личности работника, знание его мотивационных установок, умение их формировать и направлять в соответствии с целями и задачами, стоящими перед организацией.

При этом необходимо обеспечить выживаемость организации путем более высоких темпов формирования и развития ее кадрового потенциала по сравнению с изменениями окружающей среды. То есть главная задача состоит в адаптации организации не к самим изменениям внешней среды, а к скорости этих изменений.

Укрупненно можно выделить три фактора, оказывающих воздействие на людей в организации.

Первый – иерархическая структура организации, где основное средство воздействия – это отношения власти-подчинения, давление на человека сверху с помощью принуждения, контроля над распределением материальных благ.

Второй – культура, т.е. вырабатываемые обществом, организацией, группой людей совместные ценности, социальные нормы, установки поведения, которые регламентируют действия личности, заставляют индивида вести себя так, а не иначе без видимого принуждения.



Третий – рынок, сеть равноправных отношений, основанных на купле-продаже продукции и услуг, отношениях собственности, равновесии интересов продавца и покупателя.

Эти факторы воздействия – понятия достаточно сложные и на практике редко реализуются в отдельности. Какому из них отдается приоритет, таков и облик экономической ситуации в организации.

Персонал предприятия, организации – это наемные работники, то есть лица, заключившие трудовой договор (контракт) с работодателем. В состав персонала входят владельцы или совладельцы предприятия, если они участвуют в деятельности организации своим личным трудом и получают соответствующую оплату наряду с принадлежащей им частью доходов.

Персонал организации является объектом управления, производительной силой, основной составляющей каждого производственного процесса.

В современных условиях наряду с финансовым и производственным капиталом все более важными ресурсами становятся знания, опыт, трудовые навыки, инициатива, деловитость, ценностно-мотивационная сфера работников.

Управление персоналом все в большей степени должно иметь социальную направленность, ориентироваться на интересы работника. При этом необходимо согласование решений, принимаемых не только с интересами производства, но и с интересами его социальной составляющей – коллектива предприятия.

Управление должно предусматривать:

- создание условий для углубления знаний, повышения квалификации;
- улучшение мотивации с одновременным расширением полномочий работников в принятии хозяйственных решений;
- гибкое и адаптированное использование «человеческих ресурсов», повышение творческой и организаторской активности персонала, формирование гуманизированной организационной культуры.

Система управления персоналом ориентирована на решение следующих задач:

- активное и полное обеспечение потребностей организации в трудовых ресурсах необходимой специализации и соответствующих уровней квалификации;
- формирование и поддержание комплекса организационных, экономических, а также социально-психологических условий, способствующих наиболее эффективному выполнению работниками возложенных на них функций;
- обеспечение необходимого уровня взаимосвязи между управлением персоналом и другими направлениями менеджмента организации.

Управление персоналом предусматривает выполнение определенных функций, а именно:

- определение целей и основных направлений работы с кадрами;
- усовершенствование системы кадровой работы в организации;
- определение мероприятий, форм и методов осуществления поставленных целей;
- организация работы по выполнению принятых решений по управлению персоналом;
- координация и контроль выполнения намеченных мероприятий.

В теории менеджмента выделяют несколько подходов к классификации методов управления персоналом. Так, М.В. Сорокина выделяет следующие методы управления персоналом:

1. По типу воздействия различают методы прямого и косвенного воздействия. Методы прямого воздействия предполагают однозначное исполнение, обусловленное действием четких регламентов. Их применение не допускает свободы выбора поведения исполнителем. Методы косвенного воздействия такую свободу предоставляют. Необходимый результат достигается за счет использования рычагов, заинтересовывающих исполнителя действовать в интересах руководителя.

2. По масштабу использования методы подразделяются на общие и частные. Частные методы разрабатываются применительно к решению конкретных задач в рамках отдельных элементов системы управления и имеют конкретный алгоритм исполнения. Общие методы универсальны. Они применимы для реализации нескольких. С их помощью обеспечивается реализация частных методов управления.

3. По источнику управляющего воздействия различают методы централизованного и децентрализованного воздействия. Методы централизованного воздействия разрабатываются высшим руководством предприятия. Методы децентрализованного воздействия разрабатываются на низовых уровнях управления.

4. По продолжительности воздействия методы подразделяются на долгосрочные, среднесрочные и оперативные. Методы каждой группы обеспечивают реализацию соответственно долгосрочных, среднесрочных и оперативных целей.

5. По способу выработки управляющего воздействия различают единоличные, коллегиальные и коллективные методы. Единоличные методы вырабатываются руководителем без привлечения к этому процессу подчиненных. Коллегиальные методы вырабатываются группой должностных лиц, входящих в состав структурного образования, уполномоченного на решение определенного круга специализированных задач. Коллективные методы вырабатываются всеми работниками, входящими в состав относительно обособленного структурного

образования (например, отдела, секции или предприятия в целом). Соотношение методов определяется стилем управления, принятым в данной организации, и рабочей обстановкой.

6. В соответствии с организационными особенностями воздействия можно выделить профилактические методы (направленные на предупреждение нежелательных действий, результата), пресекающие методы (направленные на прекращение действий, изменение ситуации) и подкрепляющие или поддерживающие (направленные на их сохранение).

7. По механизму и характеру воздействия на персонал различают три группы методов: организационно-распорядительные (административные), экономические и социально-психологические.

К экономическим методам управления персоналом относятся: прогнозирование и планирование кадровой работы, расчеты баланса рабочих мест и трудовых ресурсов, определение основной и дополнительной потребности в кадрах.

Организационно-распорядительные методы – это различные способы воздействия на работников, основанные на использовании установленных организационных связей, правовых положений и норм.

Социально-психологические методы управления персоналом представляют собой конкретные приемы и способы воздействия на процесс формирования и развития трудового коллектива и отдельных работников. Социальные методы в большей степени влияют на весь коллектив (социальное планирование, создание оптимального социально-психологического климата и др.), психологические – на отдельных работников (методы психологического отбора, оценки персонала и т.д.).

**Выводы.** Современная концепция менеджмента рассматривает управление как процесс, состоящий из нескольких взаимосвязанных функций. В настоящее время значительно возрос интерес к человеку как главному фактору производства, доходов, повышению производительности труда, как ценному ресурсу организации в конкурентной борьбе. В целом концепция управления персоналом – это система взглядов на трактовку сущности, содержания, целей, задач, критериев, принципов и методов управления персоналом и механизма ее реализации в конкретных условиях.

Методы управления – совокупность средств и способов воздействия управляющего субъекта на объект управления для достижения конкретных целей. Метод управления характеризует законченный акт воздействия на объект управления.

В процессе конкретного решения управленческих проблем целесообразно организовать эффективные коммуникации и привлекать различные методы управления, которые

позволят учесть чужие ошибки и предоставляют способы решения задач предприятия.

### Л и т е р а т у р а

1. Аширов Д.А. Управление персоналом. /М.: Московский институт эконометрии, информатики, финансов и права., 2003. – 135с.
2. Беляцкий Н.П., Ройш П. Управление человеческими ресурсами: Учеб.пособие для слушателей MBA. – М.: Изд. центр БГУ, 2007. - 280 с.
3. Гойло В.С. Современные буржуазные теории воспроизводства рабочей силы. – М.: Наука, 1975 – 231 с.
4. Добротворский И.Л. Управление персоналом: Эффективные технологии. Учебное пособие – Москва, 2004. - 496с.
5. Капелюшников Р.И. Современные буржуазные концепции формирования рабочей силы (критический анализ). – М.: Наука, 1981.
6. Meshoulam I. Proactive human recourse management. / I. Meshoulam, 2. Baird // Human recourse management. 1987. – winter. – p.486-488.
7. Сорокина, М.В. Менеджмент в торговле :учеб.пособие / М.В. Сорокина. - СПб.: Издательский дом «Бизнес-пресса», 2008 г.
8. Струмилин С.Г. Проблемы экономики труда. – М.: Наука, 1982.
9. Травин В.В., Дятлов В.А. Менеджмент персонала предприятия: Учеб.-практ. пособие.- 5-е изд.- М.: Дело, 2003. – 272с.

### R e f e r e n c e s

1. Ashirov D.A. Upravlenie personalom. /M.: Moskovskiy institut ekonometrii, informatiki, finansov i prava., 2003. – 135s.
2. Belyatskiy N.P., Roysh P. Upravlenie chelovecheskimi resursami: Ucheb.posobie dlya slushateley MBA. M.: Izd. tsentr BGU, 2007. - 280 s.;
3. Goylo V.S. Sovremennyye burzhuznyie teorii vosproizvodstva rabochey silyi. – M.: Nauka, 1975 – 231 s.
4. Dobrotvorskiy I.L. Upravlenie personalom: Effektivnyie tehnologii. Uchebnoe posobie – Moskva, 2004 - 496s.
5. Kapelyushnikov R.I. Sovremennyye burzhuznyie kontseptsii formirovaniya rabochey silyi (kriticheskiy analiz). – M.: Nauka, 1981.
6. Meshoulam I. Proactive human recourse management. / I. Meshoulam, 2. Baird // Human recourse management. 1987. – winter. – p.486-488.
7. Sorokina, M.V. Menedzhment v torgovle :ucheb.posobie / M.V. Sorokina. - SPb.: Izdatelskiy dom «Biznes-pressa», 2008 g.
8. Strumilin S.G. Problemyi ekonomiki truda. – M.: Nauka, 1982.
9. Travin V.V., Dyatlov V.A. Menedzhment personala predpriyatiya: Ucheb.-prakt. posobie.- 5-e izd.- M.: Delo, 2003. – 272s.

**Varnavskaja D.S.**

### ANALYSIS TOOLS AND METHODS FOR ENTERPRISE STAFF MANAGEMENT

*The given article is devoted to the analysis of the basic approaches to management of the organization, namely such questions as: essence, principles and methods of management by the personnel; functions and tasks of the personnel*

*management system. The factors influencing people in the organization are determined.*

*The carried out research allows to assert that increase of efficiency of functioning of the organization is one of the most urgent problems of our time.*

**Key words:** *personnel, personnel, organization, management, functions and tasks of the personnel management system, methods of personnel management.*

**Варнавская Дарья Сергеевна**, старший преподаватель кафедры Социально-экономических и педагогических дисциплин, «Стахановский учебно-научный институт горных и образовательных технологий»

Луганского национального университета имени Владимира Даля.

**E-mail:** dvarnavskaya@mail.ua

**Varnavskaya Darya Sergeevna**, senior lecturer of the Department of Socio Economic and Pedagogical Disciplines. Stakhanov Educational and Scientific Institute of Mining and Educational Technologies of the Luhansk National University named after Vladimir Dahl.

**E-mail:** dvarnavskaya@mail.ua

**Рецензент:** *Шегута М.А.* к.фил.н., доц.

*Статья подана 25.12.2017*

УДК 908

## ИСТОРИЯ ГОРОДА СТАХАНОВА ОТ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ДО СТАНОВЛЕНИЯ

Гречишкина Е.С.

## HISTORY OF THE CITY OF STAKHANOV FROM THE ORIGIN TO FORMATION

Grechishkina E.S.

*В статье рассмотрены основные этапы развития города Стаханова с конца XVII века, история создания населенных пунктов, которые заложили основу города. Особое внимание уделяется подвигу соотечественников-стахановчан, которые отстояли родной край в годы Великой Отечественной войны.*

**Ключевые слова:** Стаханов, история, переселенцы, населенный пункт, шахта, промышленность, регион, партизаны, подвиг.

*Патриотизм – это не значит только одна любовь к своей родине. Это гораздо больше... Это сознание своей неотъемлемости от родины и неотъемлемое переживание вместе с ней её счастливых и ее несчастных дней.*

Толстой А.Н.

В истории нашей малой родины – родного города Стаханова – были различные периоды: становление, развитие, процветание, упадок. Хотелось бы рассмотреть основные вехи истории возникновения и развития города, так как именно город Стаханов для его жителей – их прошлое, настоящее и будущее.

Оседлое население на территории Стаханова появилась только в конце XVII. Местность лежала на пути народов, переселявшихся с востока на запад. Побывали тут и скифы, и сарматы, готы, кочевники монгольского происхождения, хазары, печенеги, половцы.

Первые переселенцы – запорожцы, – на территории будущего Стаханова появились в окрестностях будущего села Лозовой Павловки. В 1696 году были построены несколько мазанок, в которых поселились посполитые казаки. Это место было названо Овраг Каменный. В 1707 году на месте будущей деревни Лозовой были сооружены шалаши и землянки. Населенный пункт получил название Проток Гриценков – по имени первого поселенца отставного сотника Гриценка.

В 1728 году на берегу реки Лозовой помещик Акимов основал хутор Анненское (совр.

Ломоватку). Неподалеку от Оврага Каменного в 1730 году на месте Протока Гриценкова возникла деревня Лозовая, населенная крепостными крестьянами помещика Чермантеева.

В 1753 году на берегу реки Луганки возникла деревня Петро – Голенищевка. Хозяева помещики Петр Савельев и Тимофей Голенищев – Кутузов назвали ее именем первого и фамилией второго.

В 1760 году помещик Н. Раевский в 10 верстах от Павловки основал деревню Еленевку. В 1822 году ее посетил Александр Сергеевич Пушкин и братья Раевские.

На территории нынешнего Стаханова в XVIII в. возникли еще два населенных пункта. В 1765 г. году при реке Лозовой была основана деревня Комиссаровка. Ее жители охраняли южные границы от набегов турок и крымских татар. В этом населенном пункте находился комиссар – должностное лицо, наделенное особыми полномочиями по управлению несколькими подобными сторожевыми пунктами. В 1773 году Комиссаровка была дарована Екатериной II капитану П. Голубу за его боевые заслуги. Поэтому Комиссаровка долго называлась еще и Голубовка.

В 1776 году земли вокруг будущей слободы Лозовой Павловки достались сербу П. И. Миоковичу. Он основал на месте Оврага Каменного деревню, назвав ее своим именем – Павловкой. По соседству находилась деревня Петровка, принадлежащая помещице Анне Миоковичевой. В 1808 году на берегу Луганки появилась еще одна деревня Петровка. Неподалеку от нее впоследствии возник поселок Петровка, позже переименованный в поселок Ирмино. Была и третья Петровка на берегу речки Лозовой, принадлежавшая помещице Кордовской.

В 1819 году помещик Сабо основал деревню Сабовка в семи верстах от Лозовой Павловки. В ту же пору на речке Луганка возникла деревня Михайловка. Все эти поселения находились на территории современного Стаханова.

К числу первых населенных пунктов, составивших потом город Стаханов, относилась деревня Андреевка, основанная 1 ноября 1814 года при реке Камышевахе. Эта деревня положила начало Стаханову. В 1859 году она перешла во владение Борисовского и стала называться Борисовкой.

В том же году на берегу речки Камышевахи основалось селение Богдановка, некоторое время спустя в округе появились деревни Криничная – Белиновка, Николаевка, Богаевка – Бугаёвка, получившие имена помещиков – владельцев, а также Беззаботовка, населенная государственными крестьянами, которые платили подушную подать, оброк и исполняли земские повинности: дорожную, рекрутскую и т. д.

В 1894 году сахарозаводчик Шубин закладывает капитальную шахту №1 «Карл» (всем известная шахта имени Ильича). Рудник все больше обрастал жилищами шахтеров. В быту он назывался Шубинкой, а в официальных документах такое название не фигурировало.

Осенью 1896 года шахта №1 давала пуды угля. С 1898 года Шубинка стала называться Кадиевкой. В этом же году возле станции Алмазная был заложен Алмазьянский металлургический завод, первая доменная печь которого заработала в 1899 году. Благоустройство Шубинки ускорилось при содействии Алмазного акционерного общества. В частности, в поселке было построено здание почтово-телеграфной конторы. Начальником конторы назначили коллежского асессора М.И. Кравцова. В честь своего сына Кадия Кравцов стал называть контору Кадиевской, по названию которой начали называть и поселок. Новое название – Кадиевка (ныне Стаханов) впервые в официальных документах появилось в 1898 году.

Детальное изучение Кадиевского месторождения углей было осуществлено в 1837-1839 годах геологической экспедицией, возглавляемой французским профессором Ле-Пле.

Особенно бурно начала развиваться угольная промышленность Стаханова в конце 70-х-начале 80-х годов 19 столетия. Именно тогда в Кадиевском районе возникли Семеновский и Надеждинский рудники.

В начале 90-х годов 19 века крупные рудники давали 50% всей добычи угля в Донбассе, а к 1901 – около 80%.

Накануне Первой мировой войны поселок Кадиевка приобретает черты города. Появились первые улицы: Коккериль (ныне Ленина, Ясюковича, Церковная, Торговая (ныне Кирова) с пришахтным базаром, лавками частных торговцев, трактирами. На улице Коккериль находилось здание конторы рудника, деловой клуб, и церковно-приходская школа. Улица заканчивалась садом (парком) Лутовинова. Вскоре появилась и больница на 60 коек.

В 1911 году сдан в эксплуатацию Кадиевский коксохимический завод.

В 1932 году Кадиевка получила статус города.

В ночь с 30 на 31 августа 1935 года на шахте «Центральная-Ирмино» Алексей Стаханов установил мировой рекорд производительности труда на отбойном молотке, нарубив за 5 часов 45 минут 102 тонны угля, перевыполнив норму в 14 раз. Так зародилось стахановское движение. Оно дало существенный толчок развитию промышленности в нашем регионе.

Так, в 1934 году на базе мастерских треста «Коксохиммонтаж» создан Кадиевский машиностроительный завод, который в довоенное время выпускал запчасти для металлургии, коксохимических заводов.

С 1937 по 1943 годы город назывался Серго в честь Серго Орджоникидзе. Но название не прижилось, и после освобождения от немецко-фашистских захватчиков в сентябре 1943 года город продолжил называться Кадиевкой.

Так как тема статьи тесно связана с понятием «патриотизм», а «патриотизм – это преданность и любовь к своему отечеству, к своему народу и готовность к любым жертвам и подвигам во имя их интересов». Особое внимание хотелось бы уделить тому подвигу наших соотечественников – стахановчан, которые отстаивали нас и нашу свободу в годы Великой отечественной войны, не щадили ни свои жизни, ни жизни своих близких ради победы над захватчиками.

Как только до Стаханова долетела весть о начавшейся войне, жители города собрались на митинги, чтобы выразить свою готовность отдать все силы для фронта, во имя победы над врагом.

В военкомат стали поступать заявления с одной просьбой – послать на фронт. В первые же дни войны было получено до 5 тысяч заявлений с такими просьбами.

Первый день войны... Действует Указ президиума Верховного совета СССР о том, что в Украинской Советской Социалистической Республике введено военное положение. В соответствии с этим Указом в Стаханове издается приказ «Об обеспечении общественного порядка и государственной безопасности». Устанавливалось время работы учреждений и организаций, они заканчивали свою работу в 22 часа 30 минут. Запрещался въезд в Стаханов, Брянку, Голубовку, Ирмино, Лозовую Павловку и поселок Алмазная лицам, не прописанным в этих населенных пунктах... Было отменено движение транспорта по городам и рабочим поселкам с 23 до 4 часов утра без специальных пропусков....

Ушедших на фронт рабочих заменили пенсионеры, домохозяйки, их дочери, сыновья...

Стахановчане отдавали все свои силы великому делу разгрома врага. Развернулось социалистическое соревнование под лозунгом: «Все для фронта, все для победы!» Жители города начали

изучать военное дело, готовиться к обороне. Был сформирован полк народного ополчения.

В июле 1942 г. город захватили немецкие оккупанты. Был установлен режим кровавого террора. Территория стала «военной зоной», подчиненной немецкому военному командованию. Фашисты создали карательный аппарат.

23 января 1943 года у недостроенного Дворца культуры гитлеровцы расстреляли более 20 лучших людей Стаханова, среди них был Николай Григорьевич Гвоздырьков – депутат Верховного совета УССР.

28 августа 1942 года гитлеровцы ворвались в дом Петра Андреевича Мартынова, два месяца держали его в тюрьме, допрашивали, пытали, расстреляли. Теперь прах Мартынова и его товарищей покоится в могиле, которая находится на территории городского сквера...

Когда оккупанты ворвались в Стахановский район, Федор Максимович Круглов, горняк шахты имени Ильича, вместе с сыном Иваном ушел в партизанский отряд, но предатели выдали Кругловых, их упорно допрашивали, более месяца продолжались пытки, Кругловых живыми закопали в землю.

Здание школ, клубов, театров, больниц были превращены в тюрьмы, но жители города продолжали борьбу. В Кадиевке действовали партизанские отряды Ольги Филимоновой и Григория Филипповича Кононенко.

В партизанский отряд, который возглавляла секретарь комсомольской организации шахты №36 Ольга Филимонова, входило семь человек:

Николай Калининчик

Николай Гусев

Клавдия Ледовская

Иван Сокирко

Мария Гусева

Бойцы отряда:

1. Добывали ценные сведения для командования действующей армии;

2. Вели разъяснительную работу среди населения;

3. Распространяли газеты и листовки;

4. Взорвали полотно железной дороги Алмазная – Максимовка, пустили под откос немецкий эшелон.

25 июля 1942 г. бойцы были схвачены. После жестоких пыток измученных и искалеченных героев расстреляли в центре города. Их прах покоится в земле городского сквера.

Перед этим памятником склоняет голову каждый проходящий мимо стахановчанин...

На Криворожском руднике действовали партизаны группы Игоря Павловича Левтерова.

- они взорвали водонапорную башню,

- нарушили телефонную связь гитлеровцам.

Вера Ефимовна Денисенко, работая в немецкой конторе снабжения, обеспечивала партизан карточками на хлеб. Она действовала в контакте с

Николаем Григорьевичем Бубновым, который по воле партизан заведовал складом управления снабжения продовольствием немецких оккупантов. Они выдавали примерно по 15 карточек в день подставным лицам, партизанам отпускалась мука, зерно, масло, табак.

В городе имелись четыре явочные квартиры. Одна из них – учительницы Т. Синецкой. У нее, когда это было нужно собирались партизаны. При этом на веранде дежурили двое в немецкой форме. Заводили патефон, танцевали. А в это время подпольщики держали совет.

На квартире Антонины Александровны Бурбело хранились оружие, боеприпасы. Сама она часто выполняла особые задания командования партизан. В ночь на 20 декабря 1942 г. партизаны с ее помощью сожгли продуктовую базу фашистов.

Немецкие власти расклеили по городу объявления: тот, кто знает, где скрываются партизаны, и не заявит, подлежит повешению на базарной площади. Об этом было сообщено командиру отряда Григорию Филипповичу Кононенко, который ответил: «Пусть сначала поймают...!»

Деятельность отряда Кононенко была активной:

- отряд повредил силовой трансформатор на территории электростанции, которая обеспечивала электроэнергией весь Стахановский район и город Луганск;

- завалил уклон на шахте «Голстый №1»;

- взорвал немецкий гараж;

- сжег продуктовую базу на шахте №38;

- вывел из строя водокачку «Ольха»;

- уничтожил более 30 немецких солдат, офицеров и полицейских, 6 автомашин и 2 мотоцикла;

- было выпущено 40 листовок общих тиражей более 4 тысяч штук.

Каждый день немцы устраивали облавы. У всех тщательно проверяли документы. Всех взрослых старше 15 лет отправляли на рытье окопов в Алмазную, Дебальцево и Алчевск.

Под видом отправки на рытье окопов людей сажали в железнодорожные вагоны и увозили в Германию.

Гитлеровцы возлагали большие надежды на Донбасс. Здесь сразу же появились представители германских фирм, которые хотели подчинить предприятия немецким угольно-металлургическим монополиям. На шахтах и заводах Стаханова начали действовать управляющие, которые представляли специально созданное в Германии «Общество эксплуатации Востока», они надеялись быстро пустить в ход все предприятия, было объявлено, что потеряв Донбасс, Советский Союз не сможет долго сопротивляться.

Но оккупанты натолкнулись на одно непредвиденное препятствие – нежелание шахтеров работать на немцев. Пустить шахты и заводы

немцам не удалось, хотя против саботажа принимались строжайшие меры.

В это время советские войска Юго-Западного фронта развернули мощное наступление. 2 сентября 1943 года они освободили Лисичанск, Лозовую Павловку и другие населенные пункты Донбасса. 3 сентября немцы оставили Стаханов и Ирмино и отступили к Алмазной, а 4 сентября им пришлось оставить и Алмазную. Стахановский район был освобожден.

Отступая немецко-фашистские захватчики оставили после себя руины. 2 сентября 1942 года была издана секретная инструкция о полном разрушении промышленных предприятий Донбасса и вывоз всего ценного имущества:

1. Были разрушены все шахты, в том числе 15 крупнейших;
2. 2 коксохимических завода;
3. Алмазьянский металлургический завод;
4. Кадиевский смолотермический завод и так далее...
5. Уничтожено 45 школ; 5 больниц; 4 амбулатории; 15 детских садов; 34 театра и клуба.

И это только малая часть данных. В целом городу был нанесен колоссальный ущерб.

5 сентября состоялся общегородской митинг, посвященный изгнанию захватчиков, которые хозяйничали в городе 419 дней.

Около 3 тысяч человек замучили и расстреляли в Кадиевском районе немецко-фашистские захватчики. Свыше 10 тысяч человек были угнаны на принудительные работы в Германию.

В послевоенное время:

В 1941 году сдан в эксплуатацию Кадиевский коксохимический завод. Кроме литейного кокса, завод поставлял каменноугольный пек, плавящийся нафталин, инден-кумароновые смолы, родановый аммоний, фенол, сырой бензол, шпалопиточное масло.

В 1942 году Кадиевка получила статус город.

В ночь с 30 на 31 августа 1935 года на шахте «Центральное – Ирмино» Алексей Стаханов установил мировой рекорд производительности труда на отбойном молотке, нарубив за 5 часов 45 минут 102 тонны угля, перевыполнив норму в 14 раз. Так зародилось стахановское движение. Оно дало существенный толчок развитию промышленности в нашем регионе.

Так, в 1934 году на базе мастерских треста «Коксохиммонтаж» создан Кадиевский машиностроительный завод, который в довоенное время выпускал запчасти на металлургии, коксохимических заводов.

В 1937 по 1938 годы город назывался Серго в честь Серго Орджоникидзе. Но название не прижилось, и после освобождения от немецко-фашистских захватчиков в сентябре 1943 года город продолжил называться Кадиевкой.

В 1950 году построен Кадиевский завод сажи. В 1959 году создан Ирминский завод

гидрооборудования для производства гидромониторов, электроприборов, высокопарных насосов.

В 1962 году на новом построенном заводе ферросплавов была выдана первая плавка ферросилиция.

В 1965 году начал работать Кадиевский завод сварных конструкций (ныне вагоностроительный завод) по выпуску мостовых кранов. Широко развернулось строительство многоэтажных домов, объектов социально-культурного назначения.

15 февраля 1978 года с целью увековечения памяти выдающего новатора производства, Героя Социалистического Труда Алексея Григорьевича Стаханова Указом Президиума Верховной Рады Украинской ССР Кадиевка была переименована в город Стаханов.

К 50-летию стахановского движения в городе установлен памятник Алексею Стаханову, а 27 августа 1985 года город Стаханов награжден Орденом Трудового Красного Знамени.

До 1995 года город считался шахтерским. Но в течение 1995-1998 годов согласно программе реструктуризации угольной отрасли Украины были закрыты все четыре шахты. Ликвидация угольной промышленности в нашем регионе началась с закрытием в 1995 году шахты «Центральное – Ирмино». Без работы осталось свыше 17 тысяч стахановчан, которые ранее трудились на предприятиях угольной промышленности.

Молодость – самый прекрасный период в жизни человека пора надежд поисков, открытий и испытаний, именно мы активные и целеустремленные, инициативные и решительные, талантливые и образованные, в ближайшие годы будем определять экономическое и социальное лицо нашего города. Важно, чтобы каждый из нас помнил нашу историю и чувствовал свою сопричастность к настоящему и будущему.

#### Л и т е р а т у р а

1. А.С. Ефремов История Луганского края: учебное пособие / Ефремов А.С., Курило В.С., Бровченко И.Ю., Климов А.А., Красильников К.И., Семистяга В.Ф., Подов В.И. – Луганск: Альма-матер, 2003. – 432с.
2. Н.В. Лопатин Город наш Кадиевка.– М., Профиздат, 1964. – 312с.
3. Берега фронтовой славы: сборник о подвиге освободителей Северодонецко-Лисичанского района в годы Великой Отечественной войны / под ред. Л.Б. Полницкой. – С., 2011. - 109с.
4. Юные герои Луганщины: сборник документально исторических очерков / Сост. В.М. Зайцев, Н.В.Морозов. - Л., 2011. – 138с.
5. Иванцов К. Гордость и боль моя - «Молодая гвардия» / К. Иванцов. - Л., 2005. - 412с.
6. Бондарь А. и др. «Молодая гвардия»: мужество, отвага и героизм: сборник документов, материалов, статей / А.Бондарь, И.Бондарь, М.Гайдуков, В. Спектор, Н.Меженин. - Л., 2012. - 400с.
7. Романенко В.И. Испытание на прочность / В.И. Романенко. - Л., 2008. - 388с.

8. Храпов В.М. Алексей Стаханов: жизнь и подвиг / В.М.Храпов. - Л., 2010. - 151 с.

9. Комсомол Луганщины. Страницы истории: события, портреты. / Б.А. Москалюк, О.И. Котляр, Т.В. Анпилова. – Л., 2008. – 672 с.

10. Луганщина помнит своих героев. Книга памяти. – Л., 2011. – 348 с.

11. Луганщина: памятники и исторические места / Авт.-сост. О.С. Банкирцева и др. –Л., 2007. - 80 с.

### References

1. A.S. Efremov Istoriya Luganskogo kraya: Uchebnoe posobie / Efremov A.S., Kurilo V.S., Brovchenko I.Yu., Klimov A.A., Krasilnikov K.I., Semistyaga V.F., Podov V.I. – Lugansk: Alma-mater, 2003. – 432s., 16tsv.il.

2. N.V. Lopatin Gorod nash Kadievka. – М., Profizdat, 1964. – 312s.

3. Berega frontovoy slavyi: sbornik o podvige osvoboditeley Severodonetsk-Lisichanskogo rayona v godyi Velikoy Otechestvennoy voynyi / Pod red.L.B Polnitskoy. – S., 2011. - 109s.

4. Yunyie geroi Luganshinyi: sbornik dokumentalno istoricheskikh ocherkov / Sost. V.M. Zaytsev, N.V.Morozov. - L., 2011. – 138s.

5. Ivantsov K. Gordost i bol moja - «Molodaya gvardiya» / K. Ivantsov. - L., 2005. - 412s.

6. Bondar A. i dr. «Molodaya gvardiya»: muzhestvo, otvaga i geroizm: sbornik dokumentov, materialov, statey / A.Bondar, I.Bondar, M.Gaydukov, V. Spektor, N.Mezhenin. - L., 2012. - 400s.

7. Romanenko V.I. Ispytanie na prochnost / V.I Romanenko. - L., 2008. - 388s.

8. Храпов В.М. Алексей Стаханов: zhizn i podvig / В.М.Храпов. - Л., 2010. - 151с.

9. Komsomol Luganshinyi. Stranitsyi istorii: sobyitiya, portrety. / В.А.Москалюк, О.И.Котляр, Т.В.Анпилова. – Л., 2008. – 672 с.

10. Luganshina pomnit svoih geroev. Kniga pamyati. – L., 2011. – 348 s.

11. Luganshina: pamyatniki i istoricheskie mesta / Avt.-sost.O.S. Bankirtseva i dr. –L., 2007. – 80 s.

**Grechishkina E.S.**

### HISTORY OF THE CITY OF STAKHANOV FROM THE ORIGIN TO FORMATION

*In the article the main stages of Stakhanov's development from the end of the 17th century, the history of the creation of settlements that laid the foundation of the city are considered. Particular attention is paid to the feat of compatriots, Stakhanovites, who defended their native land during the Great Patriotic War*

**Keywords:** Stakhanov, history, settlers, settlement, mine, industry, region, partisans, feat.

**Гречишкіна Елена Сергеевна**, к.ист.н., доцент кафедры «Социально-экономические и педагогические дисциплины» Стахановский учебно-научный институт горных и образовательных технологий ГОУ ВПО «Луганский национальный университет имени Владимира Даля».

**Grechishkina Elena Sergeevna**, Candidate of Historical Sciences, a dosent of the Chair « Socio-economic and pedagogical disciplines », Stakhanov Training Scientific Institute of Mining and Educational Technologies, State Educational Establishment of Higher Professional Education «Lugansk Vladimir Dahl National University».

**E-mail:** grechishkinaelena17@gmail.com.

**Рецензент:** Карчевская Наталья Васильевна, кандидат педагогических наук, доцент, зав. кафедрой «Социально-экономические и педагогические дисциплины» Стахановский учебно-научный институт горных и образовательных технологий ГОУ ВПО «Луганский национальный университет имени Владимира Даля».

*Статья подана 25.12.2017*



УДК 532.5 – 681.5

## ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКЦИИ КАНАЛА ПИТАНИЯ НА ПРОПУСКНУЮ СПОСОБНОСТЬ ВИХРЕВОГО КЛАПАНА

Сёмин Д. А., Левашов Я. Н., Левашов А. Н., Перевалов В. В., Перевалова Н. И.

## INFLUENCE OF THE CONSTRUCTION POWER SUPPLY ON ITS CROSSING CAPACITY OF THE VORTEX VALVE

Syomin D. A., Levashov Y. N., Levashov A. N. Perevalov V. V., Perevalova N. I.

*Статья посвящена вопросам гидродинамики вихревых клапанов с осевым и радиальным каналами питания.*

*Результаты виртуального моделирования сопоставлены с данными физических испытаний.*

*Проведено сравнение пропускной способности вихревых клапанов указанных типов при использовании осевого и радиального диффузоров в выходном канале.*

*Установлено, что наибольшее значение коэффициента расхода из рассмотренных четырех модификаций, имеет клапан с осевым каналом питания и радиальным диффузором на выходе. Вихревой клапан с радиальным каналом питания обладает несколько меньшей пропускной способностью по сравнению с вихревым клапаном с осевым каналом питания.*

**Ключевые слова:** *вихревой клапан, осевой и радиальный каналы питания, осевой и радиальный диффузоры, математическая модель, модель турбулентности, пропускная способность.*

**Актуальность исследования.** Одним из способов повышения пропускной способности вихревого клапана в открытом состоянии является установка на его выходе диффузора [1, 2]. Повышение пропускной способности происходит за счет снижения потерь динамического напора на выходе из вихревого клапана. При этом, существенно, приблизительно вдвое, увеличивается значение коэффициента расхода  $\mu_0$  клапана, что позволяет обеспечить необходимый расход протекающей через клапан среды, соответственно уменьшив его геометрические размеры. Более того, пропорционально снижается расход среды, затрачиваемой для запираания клапана и ее мощность, увеличивается быстродействие клапана [3,4].

**Теоретический анализ исследования.** Основное различие рассматриваемых типов вихревых клапанов заключается в следующем. Клапаны с осевым каналом обладают осевой симметрией, а с радиальным – симметричны относительно плоскости проходящей через ось

канала питания и ось вихревой камеры. Поэтому в клапане с радиальным каналом питания прогнозируется асимметричная кинематическая картина течения, с деформацией равномерной эпюры скорости в «горле» вихревого клапана. Эта неравномерность поля скоростей может негативно сказаться на работе диффузора в выходном патрубке, т.е. привести к преждевременному отрыву потока от его стенок, и как следствие, к уменьшению пропускной способности вихревого клапана.

**Цель статьи.** Целью исследования является установление гидродинамических особенностей течения в вихревых клапанах с радиальным и осевым каналами питания, имеющих радиальный или осевой диффузор на выходе. Экспериментальное и расчетное определение пропускных способностей исследованных модификаций вихревого клапана.

### **Материалы и результаты исследования.**

Вихревые клапаны относятся к элементам струйной макротехники, в которых течение газа происходит со скоростями, при которых среду можно считать несжимаемой [4].

При моделировании течений в диффузоре необходимо учитывать, как уже отмечалось, возможность отрыва потока от стенок. Это очень важное обстоятельство определяет требования к модели турбулентности. От правильности определения наличия и положения точки отрыва, возможности расчета обратных течений, зависит точность расчета пропускной способности клапана.

Наилучшим образом результаты расчёта совпадают с результатами физического моделирования, в вихревом клапане с установленным на выходе диффузором, при использовании SST модели турбулентности Ментера [5].

**Математическая модель течения несжимаемой жидкости в открытом вихревом клапане**

С учетом сказанного выше, течение в открытом вихревом клапане описывается системой уравнений Навье-Стокса, осредненными по Рейнольдсу; уравнением неразрывности; “ $k - \omega$ ” моделью турбулентности, предложенной Ментером:

$$\frac{\partial v_i}{\partial t} + v_j \frac{\partial v_i}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x_i} + F_i + \frac{\partial}{\partial x_j} [(v + \nu_t) \frac{\partial v_i}{\partial x_j}];$$

$$\frac{\partial v_i}{\partial x_i} = 0;$$

$$\frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho v_j k)}{\partial x_j} = \tilde{P} - \beta^* \rho \omega k + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ (\mu + \sigma_k \mu_t) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right];$$

$$\frac{\partial(\rho \omega)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho v_j \omega)}{\partial x_j} = \frac{\gamma}{\nu_t} \tilde{P} - \beta \rho \omega^2 + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ (\mu + \sigma_\omega \mu_t) \frac{\partial \omega}{\partial x_j} \right] + (1 - F_1) \frac{\rho \sigma_{\omega 2}}{\omega} \frac{\partial k}{\partial x_j} \frac{\partial \omega}{\partial x_j};$$

$$P = \tau_{ij} \frac{\partial v_i}{\partial x_j};$$

$$\tau_{ij} = \mu_t \left( 2S_{ij} - \frac{2}{3} \frac{\partial v_k}{\partial x_k} \delta_{ij} \right) - \frac{2}{3} \rho k \delta_{ij};$$

$$S_{ij} = \frac{1}{2} \left( \frac{\partial v_i}{\partial x_j} + \frac{\partial v_j}{\partial x_i} \right);$$

$$\mu_t = \frac{\rho a_1 k}{\max(a_1 \omega, \Omega F_2)};$$

$$\phi = F_1 \phi_1 + (1 - F_1) \phi_2;$$

$$F_1 = \tanh(\arg_1^4);$$

$$\arg_1 = \min \left[ \max \left( \frac{\sqrt{k}}{\beta^* \omega d}, \frac{500\nu}{d^2 \omega} \right), \frac{4\rho \sigma_{\omega 2} k}{CD_{k\omega} D^2} \right];$$

$$CD_{k\omega} = \max \left( 2\rho \sigma_{\omega 2} \frac{1}{\omega} \frac{\partial k}{\partial x_j} \frac{\partial \omega}{\partial x_j}, 10^{-20} \right);$$

$$F_2 = \tanh(\arg_2^2);$$

$$\arg_2 = \max \left( 2 \frac{\sqrt{k}}{\beta^* \omega d}, \frac{500\nu}{d^2 \omega} \right);$$

$$\nu_t = \frac{\mu_t}{\rho}, \quad \Omega = \sqrt{2\Omega_{ij}\Omega_{ij}};$$

$$\Omega_{ij} = \frac{1}{2} \left( \frac{\partial v_i}{\partial x_j} - \frac{\partial v_j}{\partial x_i} \right);$$

$$\tilde{P} = \min(P, 20\beta^* \rho \omega k);$$

$$\gamma_1 = \frac{\beta_1}{\beta^*} - \frac{\sigma_{\omega 1} k^2}{\sqrt{\beta^*}}; \quad \gamma_2 = \frac{\beta_2}{\beta^*} - \frac{\sigma_{\omega 2} k^2}{\sqrt{\beta^*}};$$

Константы

$$\sigma_{k1} = 0.85; \quad \sigma_{\omega 1} = 0.5; \quad \beta_1 = 0.075;$$

$$\sigma_{k2} = 1.0; \quad \sigma_{\omega 2} = 0.856; \quad \beta_2 = 0.0828;$$

$$\beta^* = 0.09; \quad k = 0.41; \quad a_1 = 0.31.$$

Начальные условия:

$$P_{in} = 105249 \text{ Па}, P_e = 101325 \text{ Па}, t = 0, v = 0,$$

Граничные условия:

$$\omega_{wall} = 10 \frac{6\nu}{\beta_1 (\Delta d_1)^2}; \quad k_{wall} = 0;$$

Условия на входных участках внешней границы расчётной области

$$\frac{U_\infty}{L} < \omega_{farfield} < 10 \frac{U_\infty}{L};$$

$$\frac{10^{-5} U_\infty^2}{L} < k_{farfield} < \frac{0.1 U_\infty^2}{Re_L};$$

где  $U_\infty$  и  $L$  – характерные для данного течения скоростной и линейный масштабы.

Математическое моделирование проводилось с помощью свободного пакета программного обеспечения вычислительной гидродинамики с открытым выходным кодом OpenFOAM.

В качестве геометрических моделей для математического моделирования были выбраны четыре конструкции вихревых клапанов с радиальным каналом питания и радиальным диффузором на выходе рис. 1а, с осевым каналом питания и радиальным диффузором на выходе рис. 1б, с радиальным каналом питания и осевым диффузором на выходе рис. 2а, с осевым каналом питания и осевым диффузором на выходе рис. 2, б.

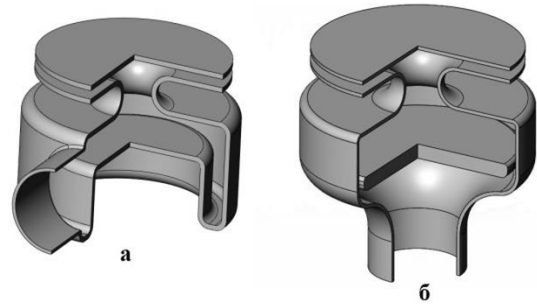


Рис. 1. Вихревые клапаны с радиальным и осевым каналами питания и радиальным диффузором на выходе

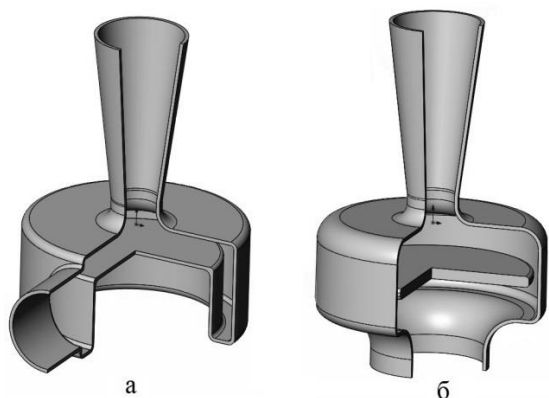


Рис. 2. Вихревые клапаны с радиальным и осевым каналами питания и осевым диффузором на выходе

В ранее проведенных исследованиях [6] были определены оптимальные геометрические параметры радиального диффузора (рис. 3) установленного на выходе вихревого клапана.

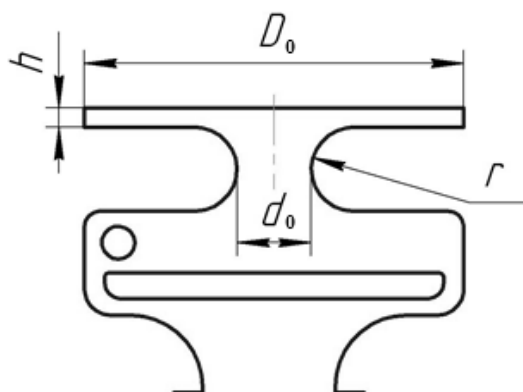


Рис. 3. Оптимальные параметры вихревого клапана с радиальным диффузором:

$$\frac{h}{d_0} = 0.217, \frac{r}{d_0} = 0.417, \frac{D_0}{d_0} = 5$$

Для осевого диффузора был взят угол раскрытия  $14^\circ$ , что соответствует безотрывному течению при равномерной эпюре скоростей на входе в диффузор. Степень уширения радиальных и осевых диффузоров одинакова и равна 4.3.

Результаты, полученные методом математического моделирования, сравнивались с экспериментальными данными. Расхождение в значениях интегральных параметров, полученных в математическом и физическом моделировании, не превышает 5%, что говорит об адекватности разработанной математической модели.

На рис. 4а и рис. 4б представлены эпюры скорости в «горле» и радиальном диффузоре вихревого клапана с радиальным и осевым каналами питания.

Из рисунка видно, что при использовании радиального канала питания из-за

несимметричности входящего потока эпюра скорости в «горле» и, как следствие, в радиальном диффузоре неравномерна при этом значение коэффициента расхода, приведенного к «горлу» вихревого клапана, составило  $\mu_0=1,56$ .

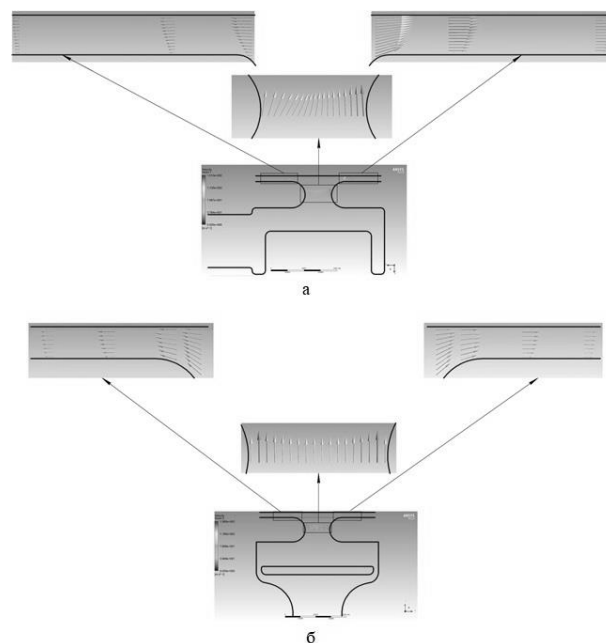


Рис. 4. Эпюры скорости в «горле» вихревого клапана и радиальном выходном диффузоре с радиальным и осевым каналами питания

Вихревой клапан с осевым каналом питания, благодаря осесимметричной конструкции, имеет более равномерную эпюру скорости в «горле», по сравнению с вихревым клапаном с радиальным каналом питания, и как следствие, более высокое значение коэффициента расхода  $\mu_0=1,91$  [6] при том же типе диффузора.

На рис. 5а и рис. 5б представлены линии тока жидкости в радиальном диффузоре вихревого клапана с радиальным и осевым каналами питания.

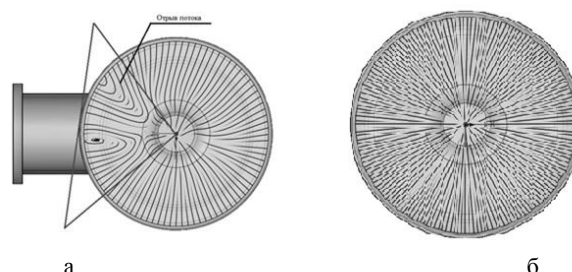


Рис. 5. Линии тока жидкости в радиальном диффузоре вихревого клапана с радиальным а и осевым б каналами питания

Как видно из рисунка, при использовании радиального канала питания из-за неравномерного распределения скорости в «горле» и диффузоре

вихревого клапана происходит отрыв потока от стенок диффузора. Как известно, при наличии отрыва в диффузоре уменьшается его эффективность и как следствие пропускная способность клапана.

В вихревом клапане с осевым каналом питания и радиальным диффузором на выходе жидкость течет безотрывно, что способствует увеличению его пропускной способности примерно на 22% по сравнению с вихревым клапаном с радиальным каналом питания.

На рис. 6, а и рис. 6, б представлены эпюры скорости в «горле» вихревых клапанов с радиальным и осевым каналами питания и осевыми диффузорами установленными на выходе.

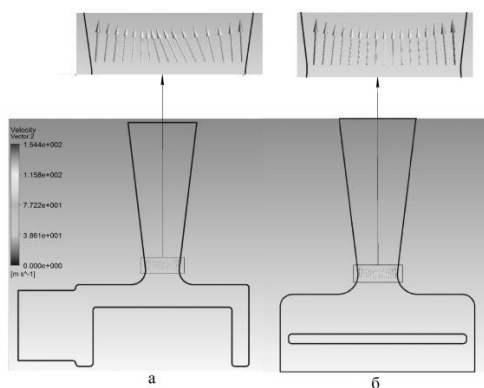


Рис. 6. Эпюры скорости в «горле» вихревых клапанов с радиальным и осевым каналами питания и осевыми диффузорами, установленными на выходе.

В клапане с радиальным каналом питания и осевым диффузором на выходе, так же наблюдается деформация эпюры скорости в «горле» вихревого клапана. Вследствие этого его коэффициент расхода на 5% меньше по отношению к вихревому клапану с осевым каналом питания и осевым диффузором на выходе. Приведенные к площади «горла», величины коэффициентов расхода составили - при радиальном входе  $\mu_0 = 1,75$  при осевом входе  $\mu_0 = 1,85$ .

На рис. 7, а и рис 7, б представлены линии тока жидкости в вихревом клапане с радиальным и осевым каналами питания и осевым диффузором на выходе.

Как видно из рисунка, в осевом диффузоре при радиальном канале питания так же происходит отрыв потока от одной из стенок диффузора, что приводит снижению пропускной способности клапана. Однако пропускная способность вихревого клапана снижается на меньшую величину, чем в случае с радиальным диффузором на выходе. Таким образом, можно сделать вывод о том, что конструкция клапана с осевым диффузором на выходе менее чувствительна к неравномерности эпюры скоростей в «горле» клапана.

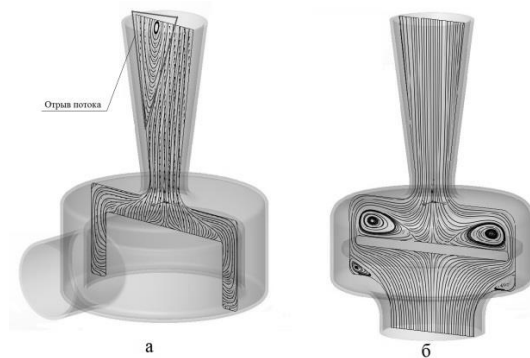


Рис. 7. Линии тока жидкости в вихревом клапане с радиальным и осевым каналами питания и осевым диффузором на выходе

### Выводы:

1. Разработанная математическая модель адекватно описывает течение в открытом вихревом клапане. Расхождение расчетных и экспериментальных интегральных значений коэффициента расхода клапана не превышает 5%.

2. При радиальном вводе потока питания в вихревую камеру, вследствие асимметрии конструкции, происходит неравномерное распределения скорости по поперечному сечению «горла» вихревого клапана. Неравномерность эпюры скорости в «горле» клапана приводит к отрыву потока от стенок диффузора, поэтому его пропускная способность меньше, чем у клапана с осевым каналом питания.

3. Вихревой клапан с осевым диффузором на выходе менее чувствителен к неравномерности распределения скоростей в «горле» вихревого клапана, чем конструкция с радиальным диффузором.

4. Исследованные конструкции вихревых клапанов обладают высокими значениями коэффициентов расхода, приведенных к «горлу клапана», в пределах  $\mu_0 = 1.56 \div 1.91$ . Асимптотическое значение  $\mu_0 = 2.52$  [3]. Без диффузора на выходе  $\mu_0 = 0.8 \div 0.9$  [4].

5. Наибольшим коэффициентом расхода  $\mu_0 = 1.91$  обладает клапан с осевым каналом питания (при  $\bar{F}_s = 4$ ) и радиальным диффузором на выходе ( $n = 4.3$ ;  $\bar{h} = 0.217$ ).

### Л и т е р а т у р а

1. Семин Д.А., Павлюченко В.А., Мальцев Я.И. Исследование вихревых усилителей с диффузорами различных типов. // Вестник НТУУ «КПИ». Машиностроение. Том 2. Вып.42.- Киев.- 2002.- С. 54-56.
2. Мальцев Я.И. О характере течения в вихревом усилителе с диффузорным выходом // Вісник СНУ им В.Далі. - Луганськ. - 2002. - №12 (34). - С. 132-132.
3. Идельчик И. Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям. - М.: Машиностроение, 1975. - 560с.
4. Семин Д.А. Разработка и совершенствование характеристик крупномасштабных вихревых клапанов. Дисс. канд. техн. наук. Луганск, 1992, 203 с.

5. Menter, F. R. (August 1994), "Two-Equation Eddy-Viscosity Turbulence Models for Engineering Applications", AIAA Journal 32 (8): 1598–1605.

6. Диссертация Мальцев Я. И. Совершенствование гидравлических характеристик вихревых регулирующих органов струйных исполнительных устройств// Луганск, 2004.

### References

1. Syomin D. A., Pavlyuchenko V. A., Maltsev Ya. I. The study of vortex amplifiers with diffusers of various types. // Bulletin of NTUU "KPI". Mechanical engineering. Volume 2. Issue 42.- Kiev .- 2002.- P. 54.

2. Maltsev Ya. I. On the nature of the flow in a vortex amplifier with a diffuser output // News of the SNU by V.Dal. - Lugansk. - 2002. - № 12 (34). - P. 132-132.

3. Idelchik I. E. Handbook of hydraulic resistance. - M.: Mechanical Engineering, 1975. - 560c.

4. Syomin D. A. Development and improvement of the characteristics of large-scale vortex valves. Diss. Cand. tech. sciences. Lugansk, 1992, 203 p.

5. Menter F. R. (August 1994), "Two-Equation Eddy-Viscosity Turbulence Models for Engineering Applications", AIAA Journal 32 (8): 1598-1605.

6. Maltsev Ya. I. Improving the hydraulic characteristics of vortex regulating organs of jet actuators // Lugansk, 2004.

**Syomin D. A., Levashov Y. N., Levashov A. N. Perevalov V. V., Perevalova N. I.**  
**INFLUENCE OF THE CONSTRUCTION POWER SUPPLY ON ITS CROSSING CAPACITY OF THE VORTEX VALVE**

*The article is devoted to the problems of hydrodynamics of vortex valves with axial and radial feed channels.*

*The results of the virtual simulation are compared with the data of physical tests.*

*The flow capacity of the vortex valves of these types is compared with the use of axial and radial diffusers in the output channel.*

*It is established that the greatest value of the flow coefficient from the four modifications considered has a valve with an axial feed channel and a radial diffuser at the outlet. A vortex valve with a radial feed channel has a lower flow capacity than a vortex valve with an axial feed channel, which is due to the prehistory of the flow formed in the vortex chamber.*

**Key words:** vortex valve, axial and radial feed channels, axial and radial diffusers, mathematical model, turbulence model, transmission capacity.

**Сёмин Дмитрий Александрович**, д.т.н. профессор кафедры «Гидрогазодинамика» ГОУ ВПО ЛНР «Луганский национальный университет имени Владимира Даля», г. Луганск

**Syomin Dmitry Alexandrovich**, Doctor of Technical Sciences Professor of the department "Hydro-gas dynamics", State Educational Establishment of Higher Professional Education «Lugansk Vladimir Dahl National University».  
**E-mail:** sdaa261@ukr.net

**Левашов Ярослав Николаевич**, аспирант кафедры «Гидрогазодинамика» ГОУ ВПО ЛНР «Луганский национальный университет имени Владимира Даля», г. Луганск.

**Levashov Yaroslav Nikolayevich**, post-graduate student of the department "Hydro-gas dynamics", State Educational Establishment of Higher Professional Education «Lugansk Vladimir Dahl National University».  
**E-mail:** xpioneerx@mail.ru

**Левашов Артём Николаевич**, аспирант кафедры «Гидрогазодинамика» ГОУ ВПО ЛНР «Луганский национальный университет имени Владимира Даля», г. Луганск.

**Levashov Artem Nikolayevich**, post-graduate student of the department "Hydro-gas dynamics", State Educational Establishment of Higher Professional Education «Lugansk Vladimir Dahl National University».  
**E-mail:** boschcdi@mail.ru

**Перевалов Владимир Владимирович** – студент группы ИМ-361м кафедры «Гидрогазодинамика», ГОУ ВПО ЛНР «Луганский национальный университет имени Владимира Даля», г. Луганск.

**Perevalov Vladimir Vladimirovich** - student gr. IM-361m of the department "Hydro-gas dynamics", State Educational Establishment of Higher Professional Education «Lugansk Vladimir Dahl National University».

**Перевалова Наталья Ивановна** – студент группы ИМ-361м кафедры «Гидрогазодинамика», ГОУ ВПО ЛНР «Луганский национальный университет имени Владимира Даля», г. Луганск.

**Perevalova Natalia Ivanovna** - student gr. IM-361m of the department "Hydro-gas dynamics", State Educational Establishment of Higher Professional Education «Lugansk Vladimir Dahl National University».

**Рецензент: Куликов Юрий Андреевич**, доктор технических наук, профессор ГОУ ВПО ЛНР «Луганский национальный университет имени Владимира Даля», г. Луганск.

*Статья подана 25.12.2017*

УДК 621.314

**СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ПОНДЕРОМОТОРНЫХ СИЛ,  
РАЗВИВАЕМЫХ СОВРЕМЕННЫМИ КОНСТРУКЦИЯМИ ПОДВЕСНЫХ  
ЖЕЛЕЗОТДЕЛИТЕЛЕЙ С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ  
НА Nd-Fe-B И Fe-Ba ОСНОВЕ**

**Парсентьев О.С., Яковенко В.В.**

**COMPARATIVE EVALUATION OF PONDEROMOTIVE FORCES DEVELOPED  
BY MODERN DESIGNS OF SUSPENDED IRON SEPARATORS  
WITH PERMANENT MAGNETS ON Nd-Fe-B AND Fe-Ba BASIS**

**Parsentiev O.S., Yakovenko V.V.**

*Для определения извлекающей способности в программном комплексе «Elcut 5.1» произведено моделирование режима работы железотделителей с постоянными магнитами на Nd-Fe-B (Неодим-Железо-Бор) и Fe-Ba (Феррит-Бариевых) основах, получены значения напряженности и индукции магнитного поля в исследуемых ферромагнитных телах (ФТ) с объемной магнитной восприимчивостью  $\chi=2$  и  $\chi=5$ , при горизонтальном и вертикальном положении последних относительно полюсов сепаратора, а также в зависимости от их удаления от поверхности полюсов железотделителей в глубь рабочей зоны.*

*Определены удельные магнитные силы, градиенты магнитного поля, а также пондеромоторные силы, действующие на удаляемое ФТ от поверхности полюсов железотделителя.*

*Предложено мероприятие, позволяющее повысить извлекающую способность у железотделителей с постоянными магнитами на Nd-Fe-B и Fe-Ba основах.*

***Ключевые слова:** извлекаемое ферромагнитное тело, железотделитель с постоянными магнитами на Nd-Fe-B (Неодим-Железо-Бор) основе, железотделитель с Fe-Ba (Феррит-Бариевыми) магнитными системами, пондеромоторная сила, удельная магнитная восприимчивость, объемная магнитная восприимчивость, градиент магнитного поля, напряженность магнитного поля, зона извлечения, программный комплекс «Elcut 5.1».*

**Введение.** В настоящее время подвесные железотделители, в основу которых положена работа магнитной системы, выполненная из редкоземельных магнитных материалов (Nd-Fe-B, SmCo, FeSr), не уступают по эксплуатационным показателям и производительности электромагнитным аналогам.

Так, подвесные железотделители серии СМПР и СМПР-М (производства НПО «ЭРГА», РФ) [5], имея сравнительно небольшие габаритные размеры, массу, а также невысокое значение магнитной индукции на поверхности полюсов железотделителя 0,3 Тл, обеспечивают извлечение ферромагнитных включений

с расстояния 400-450 мм от поверхности полюсов магнитной системы. Отдельные конструкции железотделителей серии ДЖШ и ДЖШ-У (производства ООО «КЗЭ «ДимАл, г. Кировск, РФ) [6] с функцией механической очистки обеспечивают улавливание металлических включений из потока гранулированного материала, транспортируемого по конвейеру или виброжелобу с расстояния 550 мм.

Однако в большинстве представленных технических характеристиках на указанные железотделители не приводятся сведения о массе, крупности, геометрии и магнитных свойствах извлекаемых ФТ, в том числе отсутствуют сведения о том, как расположены последние относительно полюсов магнитной системы сепаратора.

При этом в ГОСТ 30577 [1] указываются невысокая норма производительности для всех типоразмеров подвесных железотделителей с постоянными магнитами в том числе, приводятся сведения о низкой извлекающей способности 8-50 см·кг, массе извлекаемых предметов 0,1-5,0 кг на глубине извлечения всего 4-10 см от поверхности полюсов магнитной системы.

Кроме этого, в ГОСТ 30577[1] не оговариваются сведения о крупности, геометрии, магнитных свойствах извлекаемых ФТ, положении последних относительно полюсов железотделителей.

Поэтому **целью работы и актуальной научно-технической задачей является** оценка пондеромоторных сил, развиваемых современными конструкциями подвесных железотделителей с постоянными магнитами в зависимости от крупности, геометрии и магнитных свойств извлекаемых ФТ, а также положении последних относительно полюсов железотделителя.

В соответствии с рекомендациями [2] напряженность поля в рабочей зоне сепаратора, полюса которого должны быть расположены по одну сторону от сыпучего слоя с сильномагнитными

извлекаемыми ФТ, должна составлять 80-120 кА/м, а для слабомагнитных ФТ напряженность магнитного поля в рабочей области железоотделителя должна составлять 800-1600 кА/м и может быть создана только мощными электромагнитами, полюса которых могут быть расположены по обе стороны от слоя сыпучего материала.

Причем нижний предел напряженности  $H$  относится к сепарации зернистых материалов, а верхний – для тонкозернистых слабомагнитных частиц, в которых диссипативные силы значительно больше сил тяжести.

Для определения пондеромоторной силы, действующей в магнитном поле железоотделителя в программном комплексе по расчету магнитных полей «Elcut 5.1», была составлена математическая модель железоотделителя с постоянными магнитами типа N 52H, выполненная на Nd-Fe-B (Неодим-Железо-Бор) основе и Fe-Ba (Феррит-Бариевых) магнитов типа F5.5A фирмы ООО «Полимагнит» (рис.1) с геометрическими размерами  $100 \times 600 \text{ мм}^2$  и глубиной рабочей зоны у железоотделителя  $h$  выбрана до 650 мм.

В представленной на рис.1 картине магнитного поля математической модели железоотделителя магниты располагались вдоль ширины конвейерной ленты, на которой будут транспортироваться уголь антрацит из Донецкого бассейна и извлекаемое ФТ.

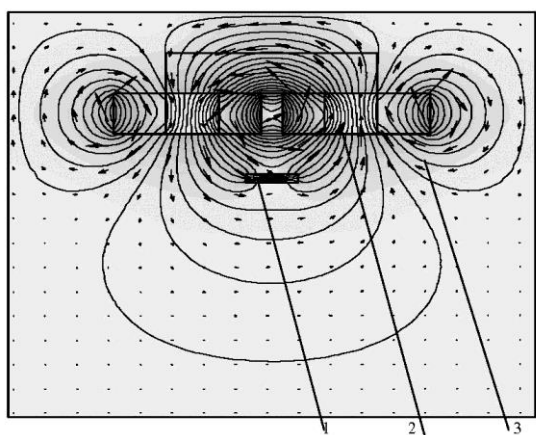


Рис. 1. Картина магнитного поля проектируемой модели железоотделителя на постоянных Nd-Fe-B и Fe-Ba магнитах: 1-ферромагнитное тело (цилиндрический прут Ст.3.  $1 \times d = 100 \times 20 \text{ мм}^2$ ) с объемной магнитной восприимчивостью  $\chi=2-5$ ; 2-блоки постоянных магнитов железоотделителя; 3-стрелками показано направление силовых линий напряженности магнитного поля

В качестве извлекаемого ФТ принимается прут цилиндрической формы, выполненный из Ст.3, расположенный горизонтально, длиной  $l = 100 \text{ мм}$  и диаметром  $d = 20 \text{ мм}$ , который перемещался от

поверхности полюсов железоотделителя в глубь рабочей зоны на расстояние от 0 до 650 мм.

В работе предлагается метод, основанный на численном использовании магнитных характеристик Nd-Fe-B (Неодим-Железо-Бор) магнитов типа N 52H и Fe-Ba (Феррит-Бариевых) магнитов типа F5.5A фирмы ООО «Полимагнит» (табл. 1), с геометрическими размерами  $100 \times 600 \text{ мм}^2$ , напряженности магнитного поля на боковых поверхностях ФТ, геометрических размеров, плотности, объемной и удельной магнитной восприимчивости ФТ и транспортируемой со скоростью  $V_k = 2,5 \text{ м/с}$  сыпучей фракции – угля антрацит из Донецкого бассейна.

Таблица 1

**Основные магнитные характеристики магнитов**

№ п/п	Энергетические показатели	Наименование магнита	
		N 52H	F5.5A
1	Объемная плотность энергии магнитного поля $W, \text{ кДж/м}^3$	414	43,8
2	Остаточная индукция $B_r, \text{ Тл}$	1,45	0,45
3	Коэрцитивная сила по индукции, $H_{CB}, \text{ А/м}$	108200	275000
4	Плотность спеченного магнита $\rho, \text{ г/см}^3$	7,4	4,5 ÷ 5,1

В процессе моделирования в программном комплексе «Elcut 5.1» режима работы железоотделителя на постоянных магнитах выполненных на Nd-Fe-B и Fe-Ba основе, были получены значения напряженности и индукции магнитного поля в ФТ с объемной магнитной восприимчивостью  $\chi=2$  и  $\chi=5$ , при горизонтальном положении последних относительно полюсов сепаратора, а также в зависимости от удаления этих ФТ от поверхности полюсов железоотделителя на расстояние до 650 мм, результаты которых представлены в таблице 2.

Определим магнитную силу по [2, С. 60], действующую по длине ФТ, используя следующее выражение,  $A^2$ :

$$F = \frac{1}{2} \cdot (\chi_1 - \chi_2) \cdot H^2 \cdot S, \quad (1)$$

где  $\chi_1$  – объемная магнитная восприимчивость ФТ. Для испытуемого образца – ФТ, выполненного из Ст.3.  $\chi_1 = 2 - 5$  [4].

$\chi_2$  – объемная магнитная восприимчивость угля. Для углей Донецкого бассейна  $\chi_2 = 0,0153$  [3];

$H$  – модуль напряженности магнитного поля, действующий на ФТ ( $A/m$ ), расположенного на глубине  $h$  (табл.2).

$S$  – площадь боковой поверхности ФТ, ( $m^2$ )

Таблица 2

Распределение магнитной индукции и напряженности магнитного поля на боковых поверхностях ФТ, при  $\chi=2$  и  $\chi=5$  в рабочей области моделируемого железоотделителя на постоянных магнитах в зависимости от типа магнитов и удаления ФТ на расстояние  $h$

Глубина удаления ФТ от поверхности полюсов $h$ , мм	Для Nd-Fe-B магнитов		Для Fe-Ва магнитов	
	Напряженность магнитного поля, А/м	Магнитная индукция, Тл	Напряженность магнитного поля, А/м	Магнитная индукция, Тл
	$H$	$B$	$H$	$B$
0	1082000	1,450	275000	0,450
50	677640	0,850	187040	0,235
100	453300	0,570	119510	0,150
150	307150	0,386	79348	0,100
200	210560	0,265	57670	0,072
250	144740	0,182	37534	0,047
300	107420	0,135	28162	0,035
350	81318	0,102	21072	0,026
400	74429	0,094	18474	0,023
450	56362	0,071	14606	0,018
500	47032	0,059	12851	0,016
550	41485	0,052	10430	0,013
600	38499	0,048	10013	0,013
650	34532	0,043	7841,6	0,010

Площадь боковой поверхности ФТ определяется по формуле:

$$S = 2\pi \cdot \frac{d}{2} \cdot l.$$

Величина удельной пондеромоторной силы  $F_{уд.м}$ , действующей на ФТ в заданной точке, определяется преобразованием формулы [2, С. 14] к выражению:

$$F_{уд.м} = \mu_0(\chi_B - \chi_C) \frac{F}{V_m}, \quad (2)$$

где  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м}$  – магнитная постоянная;

$\chi_B$  – удельная магнитная восприимчивость ФТ

по [3]  $\chi_B = 2,56 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{кг}$ ;

$\chi_C$  – удельная магнитная восприимчивость среды. Для углей Донецкого бассейна [3].

$\chi_C = 10^{-9} - 10^{-5} \text{ м}^3/\text{кг}$ ;

$F$  – формула (1);

$V_m$  – объем ФТ, ( $\text{м}^3$ ).

Объем ФТ определяется по формуле:

$$V_m = \pi \cdot \left(\frac{d}{2}\right)^2 \cdot l.$$

Для определения пондеромоторной силы, действующей на ФТ, преобразуем формулу (2) к выражению:

$$F_m = \frac{1}{2} \cdot F_{уд.м} \cdot m, \quad (3)$$

где  $F_{уд.м}$  – формула (2);

$m$  – масса ФТ, ( $\text{кг}$ ). Масса ФТ определяется по формуле:

$$m = \rho \cdot V_m.$$

Далее, из формулы [2, С. 24] выразим величину относительного градиента магнитного поля, действующего на ФТ ( $\text{А}^2/\text{м}^3$ ):

$$f_m = H \cdot \text{grad}H = \frac{2 \cdot F_m}{\mu_0 \cdot V_m \cdot \chi_1}. \quad (4)$$

Искомое значение градиента магнитного поля определяется из выражения (4), ( $\text{А}/\text{м}^2$ ):

$$\text{grad}H = \frac{f_m}{H}. \quad (5)$$

Коэффициент неоднородности магнитного поля в рабочей зоне железоотделителя ( $\text{м}^{-1}$ ):

$$C = \frac{\text{grad}H}{H}. \quad (6)$$

Определим величину силы сопротивления движению ФТ в направлении, перпендикулярном потоку ( $H$ ), по [4, С.108]:

$$F_c = \frac{k_T \cdot d \cdot V_k \cdot m}{l} + mg, \quad (7)$$

где  $k_T$  – коэффициент трения [3]. Для углей Донецкого бассейна  $k_T = 0,210 - 0,418$ ;

$d$  – толщина немагнитной смеси на конвейере,  $d = 0,05 \text{ м}$ ;



$V_k$  – скорость движения конвейера,  
 $V_k = 2,5 \text{ м/с};$

$l$  – длина области действия железоотделителя  
 $l = 0,5 \text{ м};$

$m$  – масса ФТ.

Величина, коэффициента  $K_\mu$  определяет извлекающую способность железоотделителя, рассчитывается как отношение пондеромоторной силы к силе сопротивления движению ФТ, (о.е.):

$$K_\mu = \frac{F_M}{F_c} \quad (8)$$

Для того чтобы ФТ устремилось и притянулось к полюсам сепаратора, необходимо, чтобы  $K_\mu \gg 1$  во много раз отличался от единицы.

В качестве примера в табл. 3 приведена последовательность и результаты расчета удельной магнитной силы, градиента магнитного поля, а также пондеромоторной силы, действующих на ФТ – пруток из Ст.3.,  $\chi_1 = 2$ , цилиндрической формы с заданными геометрическими размерами, расположенный в рабочей зоне моделируемого железоотделителя на расстоянии 50 мм от поверхности полюсов.

Таблица 3

Расчет удельной магнитной силы, градиента магнитного поля, а также пондеромоторной силы, действующих на ФТ

Последовательность расчета	Результаты расчета
$S = 2\pi \cdot \frac{d}{2} \cdot l, \text{ м}^2.$	$6,283 \cdot 10^{-3}$
$F = \frac{1}{2} \cdot (\chi_1 - \chi_2) \cdot H^2 \cdot S, \text{ А}^2$ при $\chi_1 = 2$ и $\chi_2 = 0,0153$	$2,863 \cdot 10^9$
$V_m = \pi \cdot \left(\frac{d}{2}\right)^2 \cdot l, \text{ м}^3.$	$3,142 \cdot 10^{-5}$
$F_{уд.м} = \mu_0(\chi_B - \chi_C) \frac{F}{V_m}, \text{ Н/кг}$ при	2816966

Последовательность расчета	Результаты расчета
$\chi_B = 2,56 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{кг}$ и $\chi_C = 10^{-9} - 10^{-5} \text{ м}^3/\text{кг}.$	
$m = \rho \cdot V_m, \text{ кг}$	0,245
$F_M = \frac{1}{2} \cdot F_{уд.м} \cdot m, \text{ Н}$	3450,78
$f_m = H \cdot \text{grad}H = \frac{2 \cdot F_M}{\mu_0 \cdot V_m \cdot \chi_1}, \text{ А}^2/\text{м}^3$	$8,743 \cdot 10^{13}$
$\text{grad}H = \frac{f_m}{H}, \text{ А}/\text{м}^2.$	$1,290 \cdot 10^8$
$C = \frac{\text{grad}H}{H} \text{ м}^{-1}.$	190,4
$F_c = \frac{k_T \cdot d \cdot V_k \cdot m}{l} + mg, \text{ Н}$ , при $k_T = 0,418$	2,43
$K = \frac{F_M}{F_c}, \text{ о.е}$	1421,10

Сравнивая полученное значение пондеромоторной силы, рассчитанной по формуле (3), с противодействующими силами (7), можно сделать заключение о том, что ФТ устремится вверх к магниту, так как сила магнитного притяжения ФТ в 1421,10 раза больше противодействующих сил.

**Результаты исследований.** Аналогичным образом, производились расчеты по определению градиента магнитного поля, удельной магнитной и пондеромоторных сил, создаваемых в рабочей зоне железоотделителя на Nd-Fe-B и Fe-Ba основах, действующих на указанное горизонтально расположенное ФТ с заданными геометрическими размерами, массой и объемной магнитной восприимчивостью ( $\chi=2$ ) и ( $\chi=5$ ), при удалении последних с поверхности полюсов на расстояние до 650 мм. Величина силы сопротивления  $F_c$  движению ФТ с ( $\chi=2$ ) и ( $\chi=5$ ) в горизонтальном направлении по мере удаления ФТ от поверхности железоотделителя возрастала со значения 2,43 до 2,74 Н. Результаты расчетов сведены в табл. 4-7.

Таблица 4

Результаты расчета градиента магнитного поля, удельной магнитной и пондеромоторной сил, создаваемых в рабочей области железоотделителя на Nd-Fe-B основе при извлечении ФТ с ( $\chi=2$ ), неизменной геометрии и массы в зависимости от удаления последнего с поверхности полюсов на глубину  $h$

Глубина $h$ , мм	Градиент поля на поверхности ФТ, $\text{grad}H, \text{ А}/\text{м}^2$	Относительный градиент магнитного поля $H \text{ grad}H, \text{ А}^2/\text{м}^3$	Удельная пондеромоторная сила $F_{уд.м}, \text{ Н/кг}$	Пондеромоторная сила $F_M, \text{ Н}$	$d$ , мм	$F_c, \text{ Н}$	$\frac{F_m}{F_c}$ , о.е.	$C, \text{ м}^{-1}$
0	$2,060 \cdot 10^8$	$2,229 \cdot 10^{14}$	71818,785	8800,530	0	2,40	3661,6	190,4
50	$1,290 \cdot 10^8$	$8,743 \cdot 10^{13}$	28169,660	3451,854	50	2,43	1421,1	190,4
100	$8,630 \cdot 10^7$	$3,912 \cdot 10^{13}$	12605,352	1544,635	100	2,46	629,3	190,4
150	$5,848 \cdot 10^7$	$1,796 \cdot 10^{13}$	5787,414	709,178	150	2,48	285,9	190,4

Глубина $h$ , мм	Градиент поля на поверхности ФТ, $gradH, A/m^2$	Относительный градиент магнитного поля $HgradH, A^2/m^3$	Удельная пондеромоторная сила $F_{уд.м}, H/kg$	Пондеромоторная сила $F_m, H$	$d$ , мм	$F_c, H$	$\frac{F_m}{F_c}$ , о.е.	$C, m^{-1}$
200	$4,009 \cdot 10^7$	$8,441 \cdot 10^{12}$	2719,789	333,278	200	2,51	133,0	190,4
250	$2,756 \cdot 10^7$	$3,989 \cdot 10^{12}$	1285,170	157,482	250	2,53	62,2	190,4
300	$2,045 \cdot 10^7$	$2,197 \cdot 10^{12}$	707,871	86,741	300	2,56	33,9	190,4
350	$1,548 \cdot 10^7$	$1,259 \cdot 10^{12}$	405,655	49,708	350	2,58	19,2	190,4
400	$1,417 \cdot 10^7$	$1,055 \cdot 10^{12}$	339,835	41,643	400	2,61	16,0	190,4
450	$1,073 \cdot 10^7$	$6,048 \cdot 10^{11}$	194,875	23,880	450	2,63	9,1	190,4
500	$8,954 \cdot 10^6$	$4,211 \cdot 10^{11}$	135,697	16,628	500	2,66	6,3	190,4
550	$7,898 \cdot 10^6$	$3,277 \cdot 10^{11}$	105,576	12,937	550	2,69	4,8	190,4
600	$7,330 \cdot 10^6$	$2,822 \cdot 10^{11}$	90,925	11,142	600	2,71	4,1	190,4
650	$6,574 \cdot 10^6$	$2,270 \cdot 10^{11}$	73,152	8,964	650	2,74	3,3	190,4

Таблица 5

**Результаты расчета градиента магнитного поля, удельной магнитной и пондеромоторной сил, создаваемых в рабочей области железоотделителя Nd-Fe-B основе при извлечении ФТ с ( $\chi=5$ ), неизменной геометрии и массы в зависимости от удаления последнего с поверхности полюсов на глубину  $h$**

Глубина $h$ , мм	Градиент поля на поверхности ФТ, $gradH, A/m^2$	Относительный градиент магнитного поля $HgradH, A^2/m^3$	Удельная пондеромоторная сила $F_{уд.м}, H/kg$	Пондеромоторная сила $F_m, H$	$d$ , мм	$F_c, H$	$\frac{F_m}{F_c}$ , о.е.	$C, m^{-1}$
0	$2,070 \cdot 10^8$	$2,239 \cdot 10^{14}$	180377,437	22103,090	0	2,40	9196,4	191,3
50	$1,296 \cdot 10^8$	$8,783 \cdot 10^{13}$	70749,888	8669,550	50	2,43	3569,1	191,3
100	$8,670 \cdot 10^7$	$3,930 \cdot 10^{13}$	31659,141	3879,448	100	2,45	1580,4	191,3
150	$5,875 \cdot 10^7$	$1,804 \cdot 10^{13}$	14535,458	1781,146	150	2,48	718,1	191,3
200	$4,027 \cdot 10^7$	$8,480 \cdot 10^{12}$	6830,924	837,048	200	2,51	334,0	191,3
250	$2,768 \cdot 10^7$	$4,007 \cdot 10^{12}$	3227,787	395,527	250	2,53	156,2	191,3
300	$2,055 \cdot 10^7$	$2,207 \cdot 10^{12}$	1777,862	217,856	300	2,56	85,2	191,3
350	$1,555 \cdot 10^7$	$1,265 \cdot 10^{12}$	1018,828	124,845	350	2,58	48,3	191,3
400	$1,424 \cdot 10^7$	$1,060 \cdot 10^{12}$	853,517	104,588	400	2,61	40,1	191,3
450	$1,078 \cdot 10^7$	$6,076 \cdot 10^{11}$	489,441	59,975	450	2,63	22,8	191,3
500	$8,996 \cdot 10^6$	$4,231 \cdot 10^{11}$	340,812	41,762	500	2,66	15,7	191,3
550	$7,935 \cdot 10^6$	$3,292 \cdot 10^{11}$	265,161	32,492	550	2,69	12,1	191,3
600	$7,364 \cdot 10^6$	$2,835 \cdot 10^{11}$	228,363	27,983	600	2,71	10,3	191,3
650	$6,605 \cdot 10^6$	$2,281 \cdot 10^{11}$	183,726	22,513	650	2,74	8,2	191,3

Анализ табл. 4 и 5 позволяет сделать заключение о том, что при удалении ФТ от поверхности полюсов железоотделителя величина градиента магнитного поля  $gradH$  уменьшается по гиперболическому закону, принимая значения:

-  $2,060 \cdot 10^8$  до  $6,574 \cdot 10^6 A/m^2$  при извлечении ФТ с  $\chi=2$ ;

-  $2,070 \cdot 10^8$  до  $6,605 \cdot 10^6 A/m^2$  при извлечении ФТ с  $\chi=5$ .

Аналогичным образом при удалении ФТ от поверхности полюсов железоотделителя уменьшается величина:

- относительного градиента магнитного поля  $HgradH$ , от величины  $2,229 \cdot 10^{14}$  до  $2,270 \cdot 10^{11} A^2/m^3$  при извлечении ФТ с  $\chi=2$  и от  $2,239 \cdot 10^{14}$  до  $2,281 \cdot 10^{11} A^2/m^3$  при извлечении ФТ с  $\chi=5$ ;

- удельной пондеромоторной силы  $F_{мт}$ , от величины 71818, 785 до 73,152  $H/кг$  при извлечении ФТ с  $\chi=2$  и от величины 180377,43 до 183,726  $H/кг$  при извлечении ФТ с  $\chi=5$ ;

- пондеромоторной силы  $F_m$ , от величины 8800,530 до 8,964  $H$  при извлечении ФТ с  $\chi=2$  и от величины 22103,090 до 22,513  $H$  при извлечении ФТ с  $\chi=5$ .

Таблица 6

**Результаты расчета градиента магнитного поля, удельной магнитной и пондеромоторной силы, создаваемых в рабочей области железоотделителя на Fe-Ва основе, действующих на ФТ с ( $\chi=2$ ), неизменной геометрии и массы в зависимости от удаления последнего от поверхности полюсов на глубину  $h$**

Глубина $h$ , мм	Градиент поля на поверхности ФТ, $gradH, A/m^2$	Относительный градиент магнитного поля $HgradH, A^2/m^3$	Удельная пондеромоторная сила $F_{уд.м}, H/кг$	Пондеромоторная сила $F_m, H$	$d$ , мм	$F_c, H$	$\frac{F_m}{F_c}$ , о.е.	$C, м^{-1}$
0	$5,236 \cdot 10^7$	$1,440 \cdot 10^{13}$	4639,262	568,486	0	2,40	236,5	190,4
50	$3,561 \cdot 10^7$	$6,661 \cdot 10^{12}$	2146,113	262,980	50	2,43	108,3	190,4
100	$2,275 \cdot 10^7$	$2,719 \cdot 10^{12}$	876,177	107,365	100	2,46	43,7	190,4
150	$1,511 \cdot 10^7$	$1,199 \cdot 10^{12}$	386,238	47,329	150	2,48	19,1	190,4
200	$1,098 \cdot 10^7$	$6,332 \cdot 10^{11}$	204,025	25,001	200	2,51	10,0	190,4
250	$7,146 \cdot 10^6$	$2,682 \cdot 10^{11}$	86,424	10,590	250	2,53	4,2	190,4
300	$5,362 \cdot 10^6$	$1,510 \cdot 10^{11}$	48,653	5,962	300	2,56	2,3	190,4
350	$4,012 \cdot 10^6$	$8,454 \cdot 10^{10}$	27,239	3,338	350	2,58	1,3	190,4
400	$3,517 \cdot 10^6$	$6,498 \cdot 10^{10}$	20,937	2,566	400	2,61	0,98	190,4
450	$2,781 \cdot 10^6$	$4,062 \cdot 10^{10}$	13,087	1,604	450	2,63	0,6	190,4
500	$2,447 \cdot 10^6$	$3,144 \cdot 10^{10}$	10,131	1,241	500	2,66	0,5	190,4
550	$1,986 \cdot 10^6$	$2,071 \cdot 10^{10}$	6,673	0,818	550	2,69	0,3	190,4
600	$1,906 \cdot 10^6$	$1,909 \cdot 10^{10}$	6,151	0,754	600	2,71	0,3	190,4
650	$1,493 \cdot 10^6$	$1,171 \cdot 10^{10}$	3,772	0,462	650	2,74	0,2	190,4

Таблица 7

**Результаты расчета градиента магнитного поля, удельной магнитной и пондеромоторной силы, создаваемых в рабочей области железоотделителя на Fe-Ва основе, действующих на ФТ с ( $\chi=5$ ), неизменной геометрии, массой в зависимости от удаления последнего от поверхности полюсов на глубину  $h$**

Глубина $h$ , мм	Градиент поля на поверхности ФТ, $gradH, A/m^2$	Относительный градиент магнитного поля $HgradH, A^2/m^3$	Удельная пондеромоторная сила $F_{уд.м}, H/кг$	Пондеромоторная сила $F_m, H$	$d$ , мм	$F_c, H$	$\frac{F_m}{F_c}$ , о.е.	$C, м^{-1}$
0	$5,260 \cdot 10^7$	$1,446 \cdot 10^{13}$	11651,801	1427,788	0	2,40	594,1	191,3
50	$3,577 \cdot 10^7$	$6,691 \cdot 10^{12}$	5390,098	660,492	50	2,43	271,9	191,3
100	$2,286 \cdot 10^7$	$2,732 \cdot 10^{12}$	2200,575	269,654	100	2,45	109,9	191,3
150	$1,518 \cdot 10^7$	$1,204 \cdot 10^{12}$	970,062	118,870	150	2,48	47,9	191,3
200	$1,103 \cdot 10^7$	$6,361 \cdot 10^{11}$	512,422	62,791	200	2,51	25,1	191,3
250	$7,179 \cdot 10^6$	$2,695 \cdot 10^{11}$	217,059	26,598	250	2,53	10,5	191,3
300	$5,386 \cdot 10^6$	$1,517 \cdot 10^{11}$	122,195	14,974	300	2,56	5,9	191,3

Глубина h, мм	Градиент поля на поверхности ФТ, $gradH, A/m^2$	Относительный градиент магнитного поля $HgradH, A^2/m^3$	Удельная пондеромоторная сила $F_{уд.м}, H/kg$	Пондеромоторная сила $F_m, H$	d, мм	$F_c, H$	$\frac{F_m}{F_c}$ , о.е.	$C, м^{-1}$
350	$4,030 \cdot 10^6$	$8,493 \cdot 10^{10}$	68,413	8,383	350	2,58	3,2	191,3
400	$3,533 \cdot 10^6$	$6,528 \cdot 10^{10}$	52,584	6,443	400	2,61	2,5	191,3
450	$2,794 \cdot 10^6$	$4,080 \cdot 10^{10}$	32,869	4,028	450	2,63	1,5	191,3
500	$2,458 \cdot 10^6$	$3,159 \cdot 10^{10}$	25,445	3,118	500	2,66	1,2	191,3
550	$1,995 \cdot 10^6$	$2,081 \cdot 10^{10}$	16,761	2,054	550	2,69	0,8	191,3
600	$1,915 \cdot 10^6$	$1,918 \cdot 10^{10}$	15,447	1,893	600	2,71	0,7	191,3
650	$1,500 \cdot 10^6$	$1,176 \cdot 10^{10}$	9,474	1,161	650	2,74	0,4	191,3

Анализ табл. 6 и 7 позволяет сделать заключение о том, что при удалении ФТ от поверхности полюсов железоотделителя на Fe-Ba основе величина градиента магнитного поля  $gradH$  уменьшается по гиперболическому закону, принимая значения:

-  $5,236 \cdot 10^7$  до  $1,493 \cdot 10^6 A/m^2$  при извлечении ФТ с  $\chi=2$ , которые меньше значений градиента поля от  $2,060 \cdot 10^8$  до  $6,574 \cdot 10^6 A/m^2$  (табл. 4), возникающих в аналогичном по конструкции железоотделителе на Nd-Fe-B основе при извлечении такого же прута;

-  $5,260 \cdot 10^7$  до  $1,500 \cdot 10^6 A/m^2$  при извлечении ФТ с  $\chi=5$ , которые меньше значений градиента поля от  $2,070 \cdot 10^8$  до  $6,605 \cdot 10^6 A/m^2$  (табл. 5), возникающих в аналогичном по конструктивному исполнению железоотделителе на Nd-Fe-B основе при извлечении того же прута.

Аналогичным образом, при удалении ФТ от поверхности полюсов железоотделителя уменьшается величина:

1. Относительного градиента магнитного поля  $HgradH$ , начиная со значения:

-  $1,440 \cdot 10^{13}$  до  $1,171 \cdot 10^{10} A^2/m^3$ , и является низкой в сравнении со значениями  $HgradH$  ( $2,270 \cdot 10^{14}$  до  $2,270 \cdot 10^{11} A^2/m^3$ ) (табл. 4) полученными в железоотделителе на Nd-Fe-B основе, при извлечении ФТ с  $\chi=2$ ;

-  $1,446 \cdot 10^{13}$  до  $1,176 \cdot 10^{10} A^2/m^3$  и является низкой в сравнении с  $HgradH$  ( $2,239 \cdot 10^{14}$  до  $2,281 \cdot 10^{11} A^2/m^3$ ) (табл. 5), полученным в железоотделителе на Nd-Fe-B основе при извлечении ФТ с  $\chi=5$ .

2. Удельной пондеромоторной силы  $F_{уд.м}$  со значения:

- 4639,26 до 3,772 H/kg, которые меньше усилий (71818,785 до 73,152 H/kg (табл. 4), развиваемых в

железоотделителе на Nd-Fe-B основе при извлечении ФТ с  $\chi=2$ ;

- 11651,801 до 9,474 H/kg и являются низкими в сравнении с усилиями (180377,437 до 183,726 H/kg (табл. 5), развиваемыми в железоотделителе на Nd-Fe-B основе при извлечении ФТ с  $\chi=5$ .

3. Пондеромоторной силы  $F_m$  со значения:

- 568,486 до 0,462 H, которые меньше усилий от (8800,530 до 8,964 H (табл. 4), развиваемых в железоотделителе на Nd-Fe-B основе при извлечении ФТ с  $\chi=2$ ;

- 1427,788 до 1,161 H и являются низкими в сравнении с усилиями (22103,090 до 22,513 H (табл. 5), развиваемыми в железоотделителе на Nd-Fe-B основе при извлечении ФТ с  $\chi=5$ .

При работе в железоотделителе с FeBa магнитными системами наблюдается, что сила сопротивления движению тела  $F_c$  в вертикальном направлении на глубине извлечения:

- 0,4-0,65 м превышает пондеромоторную силу  $F_m$ , действующую на ФТ с ( $\chi=2$ ) в данных точках области, в 1,02-5,93 раза;

- 0,55-0,65 м превышает пондеромоторную силу  $F_m$ , действующую на ФТ с ( $\chi=5$ ) в данных точках области, в 1,31-2,36 раза.

По данным табл. 2, 4-7 построены следующие зависимости:  $H, F_m, F_c, gradH = f(h)$ .

Анализ рис. 2-4 позволяет сделать заключение о том, что при удалении ФТ с ( $\chi=2$ ) и ( $\chi=5$ ) с поверхности полюсов железоотделителя зависимости  $H, F_m, gradH = f(h)$  принимают убывающий гиперболический характер.

Анализ зависимостей 2 и 3, представленных на рис. 3, показывает, что величина пондеромоторной силы  $F_m$ , действующая на ФТ с в заданных точках области, по мере удаления последнего с поверхности полюсов железоотделителя на Nd-Fe-B основе на глубине до 0,65 м превосходит:

- силы сопротивления движению ФТ с ( $\chi=2$ ) в 3661,6-3,3 раза;

- силы сопротивления движению ФТ с ( $\chi=5$ ) в 91964-8,2 раза, поэтому последние будут устремляться вверх к полюсам железоотделителя.

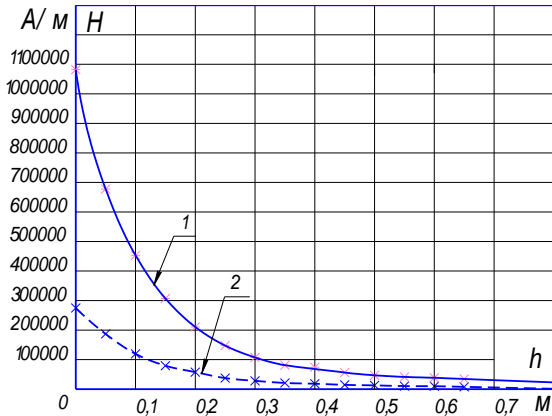


Рис.2. График распределения  $H = f(h)$  в рабочей области железоотделителя, в заданных точках на поверхности ФТ, при удалении последнего от поверхности полюсов железоотделителя на: 1 - Nd-Fe-B основе; 2- Fe-Ba основе

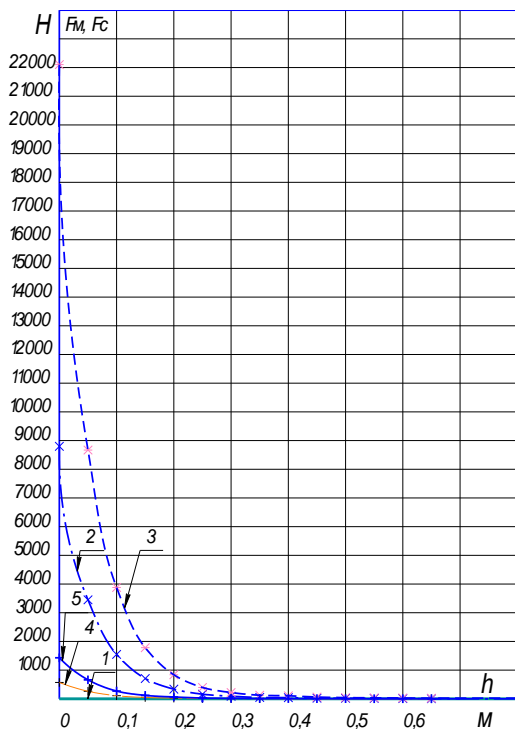


Рис. 3. Графики распределения действующих в зоне извлечения железоотделителя сил: 1 – сопротивления  $F_c = f(h)$ ; 2–пондеромоторной  $F_{m2} = f(h)$ , созданной (Nd-Fe-B) магнитами при извлечении ФТ с  $\chi=2$ ; 3–пондеромоторной  $F_{m3} = f(h)$ , созданной (Nd-Fe-B) магнитами при извлечении ФТ с  $\chi=5$ ; 4–пондеромоторной  $F_{m4} = f(h)$ , созданной (Fe-Ba) магнитами при извлечении ФТ с  $\chi=2$ ; 5–пондеромоторной  $F_{m5} = f(h)$ , созданной (Fe-Ba) магнитами при извлечении ФТ с  $\chi=5$

Сравнение зависимостей 2 и 3 на рис.3 позволяет сделать заключение о том, что величина пондеромоторной силы, действующая на горизонтально расположенное ФТ с ( $\chi=5$ ) в указанном диапазоне извлечения, принимает более высокие значения 22103,090-22,513 Н, в сравнении с величиной пондеромоторной силы, развиваемой железоотделителем при извлечении ФТ с  $\chi=2$  (8800,530 до 8,964 Н), превосходя последнюю в 2,51 раза.

Анализ зависимостей  $gradH = f(h)$  1 и 2 на рис. 4 позволяет сделать заключение о том, что величина градиента поля, действующего на ФТ с  $\chi=5$ , по мере удаления последнего от поверхности полюсов железоотделителя на глубину до 0,65 м, также уменьшается по гиперболическому закону, как и в случае с ФТ при  $\chi=2$ , но принимает более высокие значения  $2,070 \cdot 10^8 - 6,605 \cdot 10^6 \text{ A/m}^2$ , чем при извлечении ФТ с  $\chi=2$  ( $2,060 \cdot 10^8 - 6,574 \cdot 10^6 \text{ A/m}^2$ ), превосходя последнюю в 1,005 раза.

Величина коэффициента неоднородности магнитного поля созданного железоотделителями с постоянными магнитами на Nd-Fe-B и Fe-Ba основе, составляет  $190,4 \text{ м}^{-1}$  при извлечении ФТ с  $\chi=2$  и  $191,3 \text{ м}^{-1}$  при извлечении ФТ с  $\chi=5$ , и они остаются неизменными во всем диапазоне глубин извлечения железоотделителя, т.е. до 0,65 м.

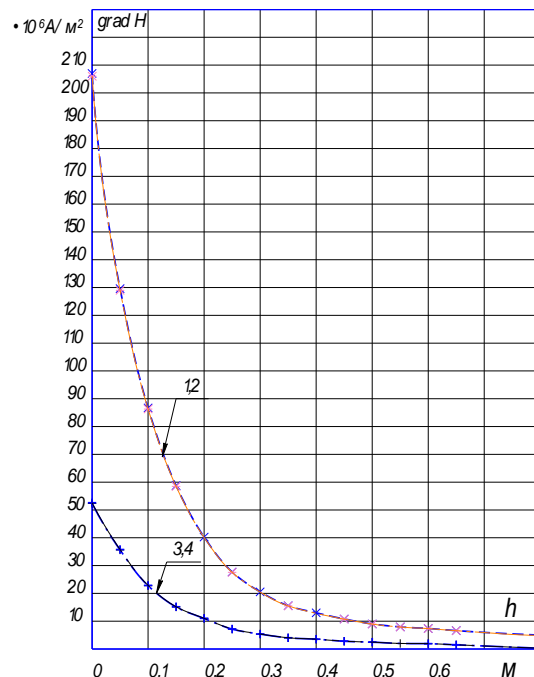


Рис. 4. График распределения  $gradH = f(h)$  в заданных точках, созданного железоотделителем: на Nd-Fe-B основе на поверхности извлекаемого ФТ 1-с  $\chi=2$ ; 2-с  $\chi=5$ ; - на Fe-Ba основе на поверхности извлекаемого ФТ 3-с  $\chi=2$ ; 4-с  $\chi=5$

Обобщающий анализ режимов работы моделируемого железоотделителя при извлечении горизонтально расположенных ФТ с  $\chi=2$  и  $\chi=5$ , массой  $m=0,245\text{ кг}$  возможен во всем диапазоне глубин извлечения железоотделителя до 0,65 м, а величины  $gradH$  и  $F_m$  принимают тем более высокие значения, чем больше магнитная восприимчивость у извлекаемого ФТ.

Таким образом, магнитное поле, созданное конструкцией железоотделителя на Nd-Fe-B основе, способно эффективно извлекать горизонтально расположенные ФТ:

-с  $\chi=2$ , крупностью до 30 кг до глубины извлечения 0,65 м;

-с  $\chi=2$ , крупностью 100 кг и более, на глубине извлечения до 0,15 м;

-с  $\chi=5$ , крупностью 80 кг и более, до глубины извлечения до 0,2 м;

-с  $\chi=5$ , крупностью от 2,2-39,55 кг до глубины извлечения до 0,65 м.

Анализ зависимостей 4, 5, представленных на рис.3. позволяет сделать заключение о том, что величина пондеромоторной силы  $F_m$ , развиваемая железоотделителем на Fe-Ba, магнитах превосходит силы сопротивления движению ФТ:

-с ( $\chi=2$ ) в 236,5-1,3 раза на глубине до 0,35 м;

-с ( $\chi=5$ ) в 594,1-1,2 раза на глубине до 0,5 м

Таким образом, в указанных диапазонах глубин ФТ заданной геометрической формы будет устремляться вверх к полюсам железоотделителя.

Следовательно, в исследуемой конструкции железоотделителя на Fe-Ba магнитах в диапазоне глубин извлечения:

-от 0,35 до 0,65 м сила сопротивления движению ФТ с ( $\chi=2$ )  $F_c$  будет превосходить пондеромоторную силу  $F_m$  в 1,02-5,93 раза;

-от 0,5 до 0,65 м сила сопротивления движению ФТ с ( $\chi=5$ )  $F_c$  будет превосходить пондеромоторную

силу  $F_m$  в 1,31-2,36 раза, вследствие чего извлечение указанных ФТ в заданном диапазоне глубин будет невозможным, что является существенным недостатком такой конструкции в сравнении с конструкцией железоотделителя с магнитами на Nd-Fe-B основе.

Причем магнитное поле, созданное конструкцией железоотделителя на Fe-Ba основе, способно эффективно извлекать горизонтально-расположенные ФТ:

-с  $\chi=2$ , крупностью 26-56,85 кг непосредственно у полюсов железоотделителя на расстоянии до 0,05 м;

-с  $\chi=5$ , крупностью до 142,78 кг непосредственно у полюсов железоотделителя на расстоянии до 0,05 м.

Таким образом, извлечение железоотделителем с постоянными магнитами на Fe-Ba основе исследуемого ФТ с  $\chi=5$  заданными геометрическими размерами и массой  $m=0,245\text{ кг}$  возможно только на глубине извлечения до 0,5 м включительно, что является недостатком такой конструкции.

**Определение пондеромоторных сил проектируемой модели железоотделителя на постоянных магнитах из Nd-Fe-B и Fe-Ba, действующих на вертикально расположенные ФТ относительно полюсов.**

В процессе моделирования в программном комплексе «Elcut 5.1» режима работы железоотделителя на постоянных магнитах, выполненных на Nd-Fe-B и Fe-Ba основе, были получены значения напряженности и индукции магнитного поля на боковых поверхностях ФТ с  $\chi=2$  и  $\chi=5$ , при вертикальном положении последних относительно полюсов сепаратора, а также в зависимости от удаления этих ФТ от полюсов железоотделителя на расстояние до 550 мм, при скорости движения конвейера  $V_k = 2,5\text{ м/с}$ . Полученные результаты измерений представлены в табл. 8.

Таблица 8

**Распределение магнитной индукции и напряженности магнитного поля в ФТ, создаваемые в рабочей области моделируемым железоотделителем на постоянных магнитах в зависимости от удаления ФТ**

Глубина удаления ФТ от поверхности полюсов h, мм	Магнитная система на Nd-Fe-B основе				Магнитная система на Fe-Ba основе			
	Ближайшая к железоотделителю торцевая поверхность ФТ		Отдаленная от железоотделителя торцевая поверхность ФТ		Ближайшая к железоотделителю торцевая поверхность ФТ		Отдаленная от железоотделителя торцевая поверхность ФТ	
	Напряженность магнитного поля $H_{r1}$ , А/м	Магнитная индукция $B_{r1}$ , Тл	Напряженность магнитного поля $H_{l2}$ , А/м	Магнитная индукция $B_{l2}$ , Тл	Напряженность магнитного поля $H_{r1}$ , А/м	Магнитная индукция $B_{r1}$ , Тл	Напряженность магнитного поля $H_{l2}$ , А/м	Магнитная индукция $B_{l2}$ , Тл
0	961020	1,208	472160	0,593	254240	0,320	124930	0,157
50	562350	0,707	277850	0,349	142950	0,180	70609	0,089
100	330180	0,415	187960	0,236	84516	0,106	47429	0,060
150	215100	0,270	128980	0,162	54472	0,068	32716	0,041
200	142490	0,179	86145	0,108	36161	0,045	21851	0,027
250	103060	0,130	59296	0,075	24872	0,031	15045	0,019
300	67780	0,085	42324	0,053	17211	0,022	10745	0,014
350	47168	0,059	29541	0,037	12049	0,015	7524	0,009
400	29541	0,037	19978	0,025	8437,7	0,011	5107,4	0,006
450	23246	0,029	13444	0,017	5902,3	0,007	3506,8	0,004
500	15777	0,020	8422,7	0,011	4028,1	0,005	2139,6	0,003
550	10175	0,013	4335,7	0,005	2586,5	0,003	1102	0,001

По данным табл. 8, построены графики распределения напряженности магнитного поля,  $H_{11}H_{12}, \Delta H = f(h)$ , взятые на поверхности вертикально расположенных ФТ с ( $\chi=2$ ) и ( $\chi=5$ ), созданные магнитными системами на Nd-Fe-B и Fe-Ba основах по мере удаления ФТ от поверхности полюсов железоотделителя на глубину  $h$ .

**Результаты исследований.** Аналогичным образом производились расчеты по определению удельной магнитной и пондеромоторной сил, а также градиента магнитного поля, создаваемых в рабочей зоне железоотделителя на Nd-Fe-B и Fe-Ba основах, действующих на вертикально расположенные ФТ с ( $\chi=2$ ) и ( $\chi=5$ ), заданными геометрическими размерами и массой, удаляемые от поверхности его полюсов на расстояние до 550 мм при скорости движения конвейера  $V_k = 2,5 м/с$ .

Величина силы сопротивления  $F_c$  движению ФТ в вертикальном направлении по мере удаления ФТ от поверхности железоотделителя возрастала со значения 2,40 до 2,69 Н. Результаты этих расчетов представлены в табл. 9-12.

Анализ табл. 9 позволяет сделать заключение о том, что при удалении вертикально размещенного ФТ с поверхности полюсов железоотделителя величина градиента магнитного

поля  $gradH$  уменьшается от величины  $4,654 \cdot 10^6$  до  $5,559 \cdot 10^4 А/м^2$ .

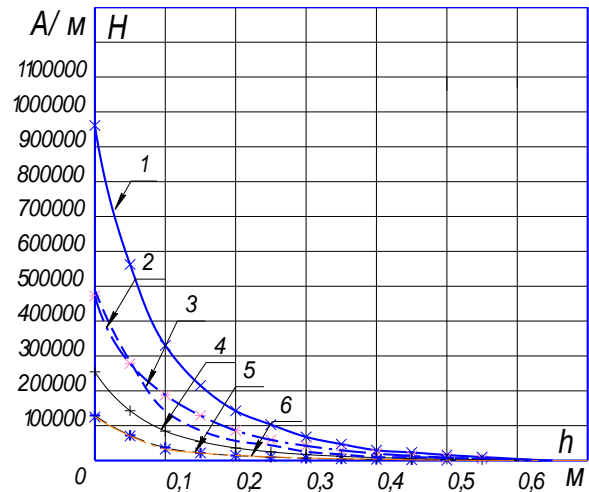


Рис. 5. Графики распределения напряженности магнитного поля в рабочей области железоотделителя, взятые в заданных точках на поверхности ФТ, при удалении последних от поверхности полюсов: 1,2,3-  $H_{11}H_{12}, \Delta H = f(h)$  железоотделителя на Nd-Fe-B основе; 4,5,6-  $H_{11}H_{12}, \Delta H = f(h)$  железоотделителя на Fe-Ba основе

Таблица 9

**Результаты расчета градиента магнитного поля, удельной магнитной и пондеромоторной сил, создаваемых в рабочей области железоотделителя на Nd-Fe-B основе при извлечении ФТ с ( $\chi=2$ ), неизменной геометрии и массы в зависимости от удаления последнего с поверхности полюсов на глубину  $h$**

Глубина $h, мм$	Градиент поля на поверхности ФТ, $gradH, А/м^2$	Относительный градиент магнитного поля $HgradH, А^2/м^3$	Удельная пондеромоторная сила $F_{уд.м}, Н/кг$	Пондеромоторная сила $F_m, Н$	$d, мм$	$F_c, Н$	$\frac{F_m}{F_c}, о.е.$	$C, м^{-1}$
0	$4,654 \cdot 10^6$	$2,275 \cdot 10^{12}$	733,031	89,824	0	2,40	37,37	9,5
50	$2,708 \cdot 10^6$	$7,705 \cdot 10^{11}$	248,266	30,422	50	2,43	12,52	9,5
100	$1,354 \cdot 10^6$	$1,925 \cdot 10^{11}$	62,040	7,602	100	2,45	3,10	9,5
150	$8,198 \cdot 10^5$	$7,060 \cdot 10^{10}$	22,749	2,788	150	2,48	1,12	9,5
200	$5,364 \cdot 10^5$	$3,022 \cdot 10^{10}$	9,738	1,193	200	2,51	0,48	9,5
250	$4,166 \cdot 10^5$	$1,823 \cdot 10^{10}$	5,875	0,720	250	2,53	0,28	9,5
300	$2,423 \cdot 10^5$	$6,169 \cdot 10^9$	1,988	0,244	300	2,56	0,10	9,5
350	$1,678 \cdot 10^5$	$2,958 \cdot 10^9$	0,953	0,117	350	2,58	0,05	9,5
400	$9,331 \cdot 10^4$	$9,146 \cdot 10^8$	0,295	0,036	400	2,61	0,01	9,5
450	$9,103 \cdot 10^4$	$8,706 \cdot 10^8$	0,281	0,034	450	2,63	0,01	9,5
500	$7,001 \cdot 10^4$	$5,149 \cdot 10^8$	0,166	0,020	500	2,66	0,008	9,5
550	$5,559 \cdot 10^4$	$3,246 \cdot 10^8$	0,105	0,013	550	2,69	0,005	9,5

Величина градиента магнитного поля  $gradH$ , развиваемая в железоотделителе данной

конструкции, меньше в 44,26-141,29 раза от величины градиента магнитного поля  $2,060 \cdot 10^8$ -

$7,898 \cdot 10^6 \text{ A}/\text{m}^2$  (табл. 4), развиваемого при извлечении горизонтально размещенного ФТ в диапазоне глубин 0-550 мм. По мере удаления ФТ от поверхности полюсов железоотделителя уменьшается величина:

- относительного градиента магнитного поля  $HgradH$ , от значения  $2,275 \cdot 10^{12}$  до  $3,246 \cdot 10^8 \text{ A}^2/\text{m}^3$ , которая меньше величины относительного градиента магнитного поля ( $2,229 \cdot 10^{14} - 3,277 \cdot 10^{11} \text{ A}^2/\text{m}^3$ ), создаваемого железоотделителем для извлечения горизонтально расположенного ФТ, в 97,98-1009,55 раза.

- удельной пондеромоторной силы  $F_{mn}$ , от значения 733,031 до  $0,105 \text{ H}/\text{кг}$ , которая меньше величины удельной пондеромоторной силы

( $71818,785 - 105,576 \text{ H}/\text{кг}$ ), создаваемой последним для извлечения горизонтально расположенного ФТ, в 97,98-1005,49 раза.

- пондеромоторной силы  $F_m$ , от значения 89,824 до 0,013Н, которая меньше величины пондеромоторной силы ( $8800,530 - 12,937 \text{ H}$ ), создаваемой последним для извлечения горизонтально расположенного ФТ в 97,98-995,15 раза.

Однако рост силы сопротивления  $F_c$  при удалении ФТ с поверхности полюсов на глубину более 0,15 м превышает величину пондеромоторной силы  $F_m$ , действующей на ФТ, в 2,10-206,92 раза, что значительно сужает глубину зоны извлечения железоотделителя до 150 мм и является существенным недостатком такой конструкции.

Таблица 10

**Результаты расчета градиента магнитного поля, удельной магнитной и пондеромоторной сил, создаваемых в рабочей области железоотделителя на Nd-Fe-B основе при извлечении ФТ с ( $\chi=5$ ), неизменной геометрии и массы в зависимости от удаления последнего с поверхности полюсов на глубину  $h$**

Глубина $h, \text{ мм}$	Градиент поля на поверхности ФТ, $gradH, \text{ A}/\text{m}^2$	Относительный градиент магнитного поля $HgradH, \text{ A}^2/\text{m}^3$	Удельная пондеромоторная сила $F_{уд.м}, \text{ H}/\text{кг}$	Пондеромоторная сила $F_m, \text{ H}$	$d, \text{ мм}$	$F_c, \text{ H}$	$\frac{F_m}{F_c}$ , о.е.	$C, \text{ м}^{-1}$
0	$4,675 \cdot 10^6$	$2,286 \cdot 10^{12}$	1841,055	225,599	0	2,40	93,86	9,6
50	$2,721 \cdot 10^6$	$7,741 \cdot 10^{11}$	623,537	76,407	50	2,43	31,46	9,6
100	$1,360 \cdot 10^6$	$1,934 \cdot 10^{11}$	155,819	19,094	100	2,45	7,78	9,6
150	$8,236 \cdot 10^5$	$7,093 \cdot 10^{10}$	57,135	7,001	150	2,48	2,82	9,6
200	$5,388 \cdot 10^5$	$3,036 \cdot 10^{10}$	24,457	2,997	200	2,51	1,20	9,6
250	$4,185 \cdot 10^5$	$1,832 \cdot 10^{10}$	14,755	1,808	250	2,53	0,71	9,6
300	$2,434 \cdot 10^5$	$6,197 \cdot 10^9$	4,992	0,612	300	2,56	0,24	9,6
350	$1,686 \cdot 10^5$	$2,971 \cdot 10^9$	2,394	0,293	350	2,58	0,11	9,6
400	$9,145 \cdot 10^4$	$8,746 \cdot 10^8$	0,705	0,086	400	2,61	0,03	9,6
450	$9,375 \cdot 10^4$	$9,190 \cdot 10^8$	0,740	0,091	450	2,63	0,03	9,6
500	$7,033 \cdot 10^4$	$5,172 \cdot 10^8$	0,417	0,051	500	2,66	0,02	9,6
550	$5,584 \cdot 10^4$	$3,261 \cdot 10^8$	0,263	0,032	550	2,69	0,01	9,6

Анализ табл. 10 позволяет сделать заключение о том, что при удалении вертикально размещенного ФТ от поверхности полюсов железоотделителя величина градиента магнитного поля  $gradH$  изменяется в широком диапазоне, уменьшаясь от величины  $4,675 \cdot 10^6$  до  $5,584 \cdot 10^4 \text{ A}/\text{m}^2$ . Величина градиента магнитного поля  $gradH$ , развиваемая в железоотделителе данной конструкции ниже в 44,28-142,10 раза величины градиента магнитного поля, развиваемого для извлечения горизонтально размещенного ФТ в диапазоне глубин 0-550 мм  $2,070 \cdot 10^8 - 7,935 \cdot 10^6 \text{ A}/\text{m}^2$  (табл. 5).

Аналогичным образом при удалении ФТ от поверхности полюсов железоотделителя уменьшается величина:

- относительного градиента магнитного поля  $HgradH$  от значения  $2,286 \cdot 10^{12}$  до  $3,261 \cdot 10^8 \text{ A}^2/\text{m}^3$ , которая меньше величины относительного градиента магнитного поля ( $2,239 \cdot 10^{14} - 3,292 \cdot 10^{11} \text{ A}^2/\text{m}^3$ ), создаваемого аналогичным по конструкции железоотделителем для извлечения горизонтально расположенного ФТ с ( $\chi=5$ ), в 97,94-1009,50 раза;



- удельной пондеромоторной силы  $F_{мт}$ , от величины 1841,055 до 0,263Н/кг, которая меньше величины удельной пондеромоторной силы (180377,437 – 265,161 Н/кг), создаваемой аналогичным железоотделителем для извлечения горизонтально расположенного ФТ с ( $\chi=5$ ) в 97,98-1008,22 раза;

- пондеромоторной силы  $F_m$ , от значения 225,599 до 0,032Н, которая меньше величины пондеромоторной силы (22103,090 – 32,492Н), создаваемой последним для извлечения

горизонтально расположенного ФТ, в 97,98-1015,38 раза.

Однако рост силы сопротивления  $F_c$  при удалении ФТ, с поверхности полюсов на глубину более 0,2 м превышает величину пондеромоторной силы,  $F_m$  действующей на ФТ, в 1,41-84,1 раза, что значительно снижает глубину зоны извлечения железоотделителя данной конструкции до 150 мм и является существенным недостатком такой конструкции.

Таблица 11

**Результаты расчета градиента магнитного поля, удельной магнитной и пондеромоторной сил создаваемых в рабочей области железоотделителя на Fe-Va основе, действующих на ФТ с ( $\chi=2$ ) неизменной геометрии и массы в зависимости от удаления последнего от поверхности полюсов на глубину  $h$**

Глубина $h$ , мм	Градиент поля на поверхности ФТ, $gradH, A/m^2$	Относительный градиент магнитного поля $HgradH, A^2/m^3$	Удельная пондеромоторная сила $F_{уд.м}, H/kg$	Пондеромоторная сила $F_m, H$	$d$ , мм	$F_c, H$	$\frac{F_m}{F_c}$ , о.е.	$C, м^{-1}$
0	$1,231 \cdot 10^6$	$1,592 \cdot 10^{11}$	51,288	6,285	0	2,40	2,615	9,5
50	$6,886 \cdot 10^5$	$4,982 \cdot 10^{10}$	16,052	1,967	50	2,43	0,810	9,5
100	$3,530 \cdot 10^5$	$1,309 \cdot 10^{10}$	4,219	0,517	100	2,45	0,211	9,5
150	$2,071 \cdot 10^5$	$4,506 \cdot 10^9$	1,452	0,178	150	2,48	0,072	9,5
200	$1,362 \cdot 10^5$	$1,949 \cdot 10^9$	0,628	0,077	200	2,51	0,031	9,5
250	$9,355 \cdot 10^4$	$9,193 \cdot 10^8$	0,296	0,036	250	2,53	0,014	9,5
300	$6,155 \cdot 10^4$	$3,980 \cdot 10^8$	0,128	0,016	300	2,56	0,006	9,5
350	$4,308 \cdot 10^4$	$1,949 \cdot 10^8$	0,063	0,008	350	2,58	0,003	9,5
400	$3,170 \cdot 10^4$	$1,056 \cdot 10^8$	0,034	0,004	400	2,61	0,002	9,5
450	$2,280 \cdot 10^4$	$5,463 \cdot 10^7$	0,018	0,002	450	2,63	0,001	9,5
500	$1,798 \cdot 10^4$	$3,395 \cdot 10^7$	0,011	0,001	500	2,66	0,001	9,5
550	$1,413 \cdot 10^4$	$2,098 \cdot 10^7$	0,007	0,001	550	2,69	0,0003	9,5

Анализ табл. 11 позволяет сделать заключение о том, что при удалении вертикально размещенного ФТ от поверхности полюсов железоотделителя величина градиента магнитного поля  $gradH$  уменьшается от величины  $1,231 \cdot 10^6$  до  $1,413 \cdot 10^4 A/m^2$ . Однако величина градиента магнитного поля  $gradH$ , развиваемая в данном железоотделителе, ниже в 3,78-3,93 раза величины градиента магнитного поля ( $4,654 \cdot 10^6 - 5,559 \cdot 10^4 A/m^2$ ), развиваемого в аналогичном по конструкции железоотделителе на Nd-Fe-B основе при извлечении вертикально размещенного ФТ.

Таким образом, при удалении ФТ от поверхности полюсов железоотделителя уменьшается также величина:

- относительного градиента магнитного поля  $HgradH$  от значения  $1,592 \cdot 10^{11}$  до  $2,098 \cdot 10^7 A^2/m^3$ , которая меньше величины относительного градиента магнитного поля ( $2,275 \cdot 10^{12} - 3,246 \cdot 10^8 A^2/m^3$ ), создаваемого в железоотделителе на Nd-Fe-B магнитах, в 14,29-15,44 раза при извлечении того же вертикально расположенного прута ( $\chi=2$ );

- удельной пондеромоторной силы  $F_{мт}$  от значения 51,288 до 0,007 Н/кг, которая меньше в 14,29-15 раз, величины удельной пондеромоторной силы  $F_{мт}$ , 733,031 - 0,105 Н/кг, создаваемой железоотделителем на Nd-Fe-B основе при извлечении такого же вертикально-расположенного прута ( $\chi=2$ );

- пондеромоторной силы  $F_m$ , от значения 6,285 до 0,001Н, которая меньше в 14,29-13 раз величины пондеромоторной силы (89,824-0,013Н), создаваемой в железоотделителе на Nd-Fe-B основе при извлечении того же ФТ.

Однако на глубине более 0,04 м рост силы сопротивления  $F_c$  при удалении ФТ с поверхности

полюсов превышает величину пондеромоторной силы  $F_m$ , действующей на ФТ, в 1,24-384,29 раза, что значительно сужает глубину зоны извлечения железоотделителя такой конструкции до 30 мм и является одним из наихудших вариантов исполнения железоотделителя такой конструкции.

Таблица 12

**Результаты расчета градиента магнитного поля, удельной магнитной и пондеромоторной силы, создаваемые в рабочей области железоотделителя на Fe-Ba, действующих на ФТ с ( $\chi=5$ ) неизменной геометрии и массы, в зависимости от удаления последнего от поверхности полюсов на глубину  $h$**

Глубина $h$ , мм	Градиент поля на поверхности ФТ, $gradH, A/m^2$	Относительный градиент магнитного поля $HgradH, A^2/m^3$	Удельная пондеромоторная сила $F_{уд.м}, H/kg$	Пондеромоторная сила $F_m, H$	$d$ , мм	$F_c, H$	$\frac{F_m}{F_c}$ , о.е.	$C, m^{-1}$
0	$1,237 \cdot 10^6$	$1,599 \cdot 10^{11}$	128,814	15,785	0	2,40	6,567	9,6
50	$6,918 \cdot 10^5$	$5,005 \cdot 10^{10}$	40,315	4,940	50	2,43	2,034	9,6
100	$3,547 \cdot 10^5$	$1,315 \cdot 10^{10}$	10,596	1,298	100	2,45	0,529	9,6
150	$2,081 \cdot 10^5$	$4,527 \cdot 10^9$	3,646	0,447	150	2,48	0,180	9,6
200	$1,369 \cdot 10^5$	$1,958 \cdot 10^9$	1,578	0,193	200	2,51	0,077	9,6
250	$9,398 \cdot 10^4$	$9,235 \cdot 10^8$	0,744	0,091	250	2,53	0,036	9,6
300	$6,184 \cdot 10^4$	$3,998 \cdot 10^8$	0,322	0,039	300	2,56	0,015	9,6
350	$4,327 \cdot 10^4$	$1,958 \cdot 10^8$	0,158	0,019	350	2,58	0,007	9,6
400	$3,185 \cdot 10^4$	$1,061 \cdot 10^8$	0,085	0,010	400	2,61	0,004	9,6
450	$2,291 \cdot 10^4$	$5,488 \cdot 10^7$	0,044	0,005	450	2,63	0,002	9,6
500	$1,806 \cdot 10^4$	$3,411 \cdot 10^7$	0,027	0,003	500	2,66	0,0013	9,6
550	$1,420 \cdot 10^4$	$2,108 \cdot 10^7$	0,017	0,002	550	2,69	0,0008	9,6

Анализ табл. 12 позволяет сделать заключение о том, что при удалении вертикально размещенного ФТ от поверхности полюсов железоотделителя величина градиента магнитного поля  $gradH$  уменьшается от величины  $1,237 \cdot 10^6$  до  $1,420 \cdot 10^4 A/m^2$ . Однако величина градиента магнитного поля  $gradH$ , развиваемая в данном железоотделителе, ниже в 3,78-3,93 раза величины градиента магнитного поля ( $4,675 \cdot 10^6 - 5,584 \cdot 10^4 A/m^2$ ), развиваемого в аналогичном по конструкции железоотделителе на Nd-Fe-B основе при извлечении вертикально размещенного ФТ.

Аналогичным образом при удалении ФТ от поверхности полюсов железоотделителя уменьшается величина:

- относительного градиента магнитного поля  $HgradH$  от значения  $1,599 \cdot 10^{11}$  до  $2,108 \cdot 10^7 A^2/m^3$ , которая меньше величины относительного градиента магнитного поля

( $2,286 \cdot 10^{12} - 3,261 \cdot 10^8 A^2/m^3$ ), создаваемого в железоотделителе с магнитами на Nd-Fe-B основе в 14,30-15,47 раза при извлечении того же вертикально расположенного прута ( $\chi=5$ );

- удельной пондеромоторной силы  $F_{уд.м}$  от значения 128,814 до 0,017  $H/kg$ , которая меньше в 14,29-15,47 раза, величины удельной пондеромоторной силы  $F_{уд.м}$  (1841,055 – 0,263  $H/kg$ ), создаваемой железоотделителем на Nd-Fe-B основе при извлечении такого же вертикально расположенного прута ( $\chi=5$ );

- пондеромоторной силы  $F_m$ , от значения 15,785 до 0,002Н, которая меньше в 14,29-16 раз величины пондеромоторной силы (225,599 – 0,032Н), создаваемой в железоотделителе на Nd-Fe-B основе при извлечении того же ФТ.

Однако рост силы сопротивления  $F_c$  при удалении ФТ с поверхности полюсов на глубину более 0,078 м превышает величину пондеромоторной силы,  $F_m$  действующей на ФТ, в

1,13-134,50 раза, что значительно сужает глубину зоны извлечения железоотделителя такой конструкции до 60 мм и является существенным недостатком последнего.

По данным табл. 9-12 построены следующие зависимости:  $F_m, F_c, gradH = f(h)$ .

Анализ зависимостей 2 и 3  $F_m = f(h)$ , представленных на рис. 6, позволяет сделать заключение о том, что величина пондеромоторной силы  $F_m$ , действующей на вертикально расположенное ФТ:

-с ( $\chi=2$ ) превосходит силы сопротивления движению ФТ в 37,37-1,12 раза до глубины 0,15 м, таким образом сужая зону извлечения данного железоотделителя в 4,33 раза, в сравнении с зоной извлечения (0,65 м), необходимой для улавливания горизонтально расположенных ФТ (зависимость 2 на рис.3) из потока угля;

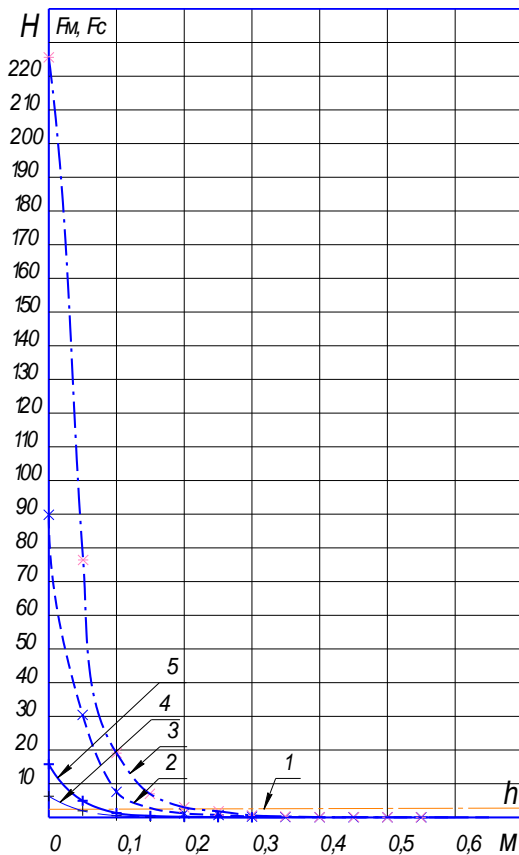


Рис.6. Графики распределения в рабочей области усилий, действующих на ФТ с ( $\chi=2$ ) и ( $\chi=5$ ):

1-сил сопротивления  $F_c = f(h)$ ; 2,3-пондеромоторных сил  $F_m = f(h)$ , образованных магнитными системами на Nd-Fe-B основе; 4,5- пондеромоторных сил  $F_m = f(h)$ , образованных магнитными системами на Fe-Ba основе.

-с ( $\chi=5$ ) превосходит силы сопротивления движению ФТ в 93,86-2,82 раза до глубины 0,20 м, сужая зону извлечения данного железоотделителя в 3,25 раза, в сравнении с зоной извлечения (0,65 м),

необходимой для улавливания горизонтально расположенных ФТ с  $\chi=5$  (зависимость 3 на рис.3).

Анализ графиков зависимостей 1, 2  $gradH = f(h)$  представленных на рис. 7, позволяет сделать заключение о том, что величина градиента магнитного поля, действующего на ФТ:

-с  $\chi=2$  по мере удаления от поверхности полюсов железоотделителя на глубину до 0,55 м также уменьшается по гиперболическому закону и принимает более низкие значения  $4,654 \cdot 10^6 - 5,559 \cdot 10^4 \text{ A/m}^2$  в сравнении с величиной градиента созданной последним при извлечении горизонтально расположенного ФТ с  $\chi=2$  ( $2,060 \cdot 10^8 - 7,898 \cdot 10^6 \text{ A/m}^2$ );

-с  $\chi=5$  по мере удаления последнего от поверхности полюсов железоотделителя на глубину до 0,55 м уменьшается по гиперболическому закону и принимает меньшие значения  $4,675 \cdot 10^6 - 5,584 \cdot 10^4 \text{ A/m}^2$ , чем при извлечении аналогичного горизонтально расположенного ФТ с  $\chi=5$  ( $2,070 \cdot 10^8 - 7,935 \cdot 10^6 \text{ A/m}^2$ ).

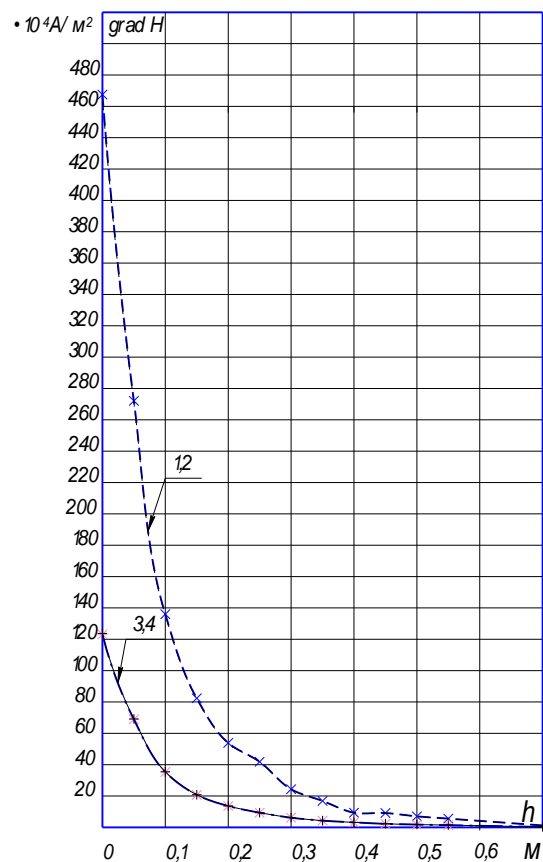


Рис.7. График распределения  $gradH = f(h)$ , взятый в заданных точках на поверхности ФТ с ( $\chi=2$ ) и ( $\chi=5$ ), по мере удаления последних от поверхности полюсов железоотделителя: 1,2 – на Nd-Fe-B основе; 3,4–на Fe-Ba основе

Это является следствием явно выраженного гиперболического спада напряженности магнитного поля в его рабочей области, что приводит к сокращению зоны извлечения ФТ с ( $\chi=2$ ) в 4,33 раза, а ФТ с ( $\chi=5$ ) – 3,25 раза.

Анализ зависимостей 4 и 5  $F_m, F_c = f(h)$ , представленных на рис. 6. позволяет сделать заключение о том, что величина пондеромоторной силы  $F_m$ , действующая на вертикально расположенное ФТ:

- с ( $\chi=2$ ) превосходит силы сопротивления движению ФТ в 6,285-1,833 раза до глубины 0,03 м, что резко сужает зону извлечения железотделителя на Fe-Ва магнитах в 21,67 раза, в сравнении с зоной извлечения (0,65 м) необходимой для улавливания горизонтально расположенных ФТ (зависимость 4 на рис.3);

- с ( $\chi=5$ ) превосходит силы сопротивления движению ФТ в 6,567-2,034 раза до глубины 0,06 м, что резко сужает зону извлечения данного железотделителя в 10,83 раза в сравнении с зоной извлечения (0,65 м), необходимой для улавливания горизонтальных ФТ (зависимость 5 на рис.3).

Анализ зависимостей 3,4  $gradH = f(h)$ , представленных на рис. 7, позволяет сделать заключение о том, что величина градиента поля, действующего на вертикально расположенное ФТ:

-с  $\chi=2$ , по мере удаления последнего от поверхности полюсов Fe-Ва железотделителя на глубину до 0,55 м уменьшается по гиперболическому закону и принимает меньшие значения от  $1,231 \cdot 10^6$  до  $1,413 \cdot 10^4 A/m^2$  в сравнении с величиной градиента  $4,654 \cdot 10^6 - 5,559 \cdot 10^4 A/m^2$ , развиваемой железотделителем на Nd-Fe-B основе при извлечении аналогичных по массе, геометрическим размерам, магнитной восприимчивости вертикально расположенных ФТ;

-с  $\chi=5$ , по мере удаления последнего от поверхности полюсов Fe-Ва железотделителя на глубину до 0,55 м уменьшается по гиперболическому закону и принимает меньшие значения  $1,237 \cdot 10^6$  до  $1,420 \cdot 10^4 A/m^2$  в сравнении с величиной градиента  $4,675 \cdot 10^6 - 5,584 \cdot 10^4 A/m^2$ , развиваемой железотделителем на Nd-Fe-B основе при извлечении однотипных по массе и геометрическим размерам вертикально расположенных ФТ с  $\chi=5$ .

Это является следствием более резкого гиперболического спада напряженности магнитного поля в его рабочей области, что приводит к сокращению зоны извлечения ФТ с ( $\chi=2$ ) в 21,67 раза, а ФТ с ( $\chi=5$ ) – 10,83 раза в сравнении со спадом напряженности наблюдаемым у железотделителя с постоянными магнитами на Nd-Fe-B основе.

Величина коэффициента неоднородности магнитного поля, созданного железотделителями на Nd-Fe-B и Fe-Ва основах, при извлечении ФТ с ( $\chi=2$ ) составляет  $9,5 м^{-1}$ , а при извлечении ФТ с ( $\chi=5$ )  $9,6 м^{-1}$  и они остаются неизменными во всем диапазоне глубин извлечения, т.е. до 0,55 м.

Таким образом, конструкции железотделителей с постоянными магнитами на Nd-Fe-B и Fe-Ва основах имеют низкие показатели извлечения при вертикальном расположении ФТ относительно полюсов. Причем наихудшими показателями из них обладают сепараторы с постоянными магнитами на Fe-Ва основе, так как глубина зоны извлечения последних не превышает предела извлечения, нормируемого по ГОСТ 30577[1] для данного типоразмера (80 мм), поэтому нуждается в совершенствовании магнитной системы.

**Выводы:** 1. В программном комплексе «Elcut 5.1» составлена математическая модель железотделителя, позволяющая имитировать работу современных конструкций железотделителей с постоянными магнитами на Nd-Fe-B и Fe-Ва основах. В результате эксперимента определены магнитная индукция и напряженность магнитного поля на границе боковых поверхностей ФТ с ( $\chi=2$ ) и ( $\chi=5$ ). Произведены расчеты градиента магнитного поля, удельной магнитной и пондеромоторных сил, действующих на горизонтально и вертикально расположенные образцы ФТ в рабочей зоне железотделителей, по мере удаления последнего от поверхности полюсов на глубину извлечения  $h$ .

2. Извлечение железотделителем с постоянными магнитами на Nd-Fe-B основе, исследуемых вертикально расположенных относительно полюсов ФТ с заданными геометрическими размерами, массой  $m = 0,245 кг$  и объемной магнитной восприимчивостью возможно:

- при ( $\chi=2$ ) до глубины 0,15 м;

- при ( $\chi=5$ ) до глубины 0,20 м.

Магнитное поле, созданное железотделителем такой конструкции, является эффективным для извлечения горизонтально расположенных ФТ:

-с  $\chi=2$ , крупностью более 50 кг на глубине до 0,20 м;

-с  $\chi=2$ , крупностью до 50 кг на всей глубине – до 0,65 м;

-с  $\chi=5$  крупностью более 50 кг на глубине до 0,25 м;

-с  $\chi=5$  крупностью до 50 кг на всей глубине – до 0,65 м.

3. Извлечение железотделителем с постоянными магнитами на Fe-Ва основе, исследуемых вертикально расположенных относительно полюсов ФТ с заданными геометрическими размерами, массой  $m = 0,245 кг$  и объемной магнитной восприимчивостью возможно:

- при ( $\chi=2$ ) на глубине до 0,03 м;

- при ( $\chi=5$ ) на глубине до 0,06 м.

Магнитное поле созданное железоотделителем такой конструкции является эффективным для извлечения горизонтально-расположенных ФТ:

- с  $\chi=2$ , крупностью до 50 кг на глубине, - до 0,30 м;

-с  $\chi=5$  крупностью более 50 кг на глубине до 0,05 м;

-с  $\chi=5$  крупностью до 50 кг на всей глубине,- до 0,40 м;

4. Для повышения пондеромоторной силы в рабочей области железоотделителя с постоянными магнитами на Fe-Ba основе необходимо совершенствование магнитных систем путем их комбинирования с электромагнитными системами. Это позволит повысить извлекающую способность железоотделителя, в том числе и при извлечении вертикально расположенных ФТ относительно его полюсов, а соответственно, и надежность извлечения ФТ.

#### Л и т е р а т у р а

1. ГОСТ 30577-98. Межгосударственный стандарт. Железоотделители магнитные и электромагнитные. Общие технические условия.-М.:Госстандарт Республики Беларусь, 2005.

2. Кармазин В.В. Магнитные и электрические методы обогащения. Учебник для вузов/Кармазин В.В., Кармазин В.И.-М.: Недра, 1988.-304 с.

3. Анцыферов М.С.Справочник машиностроителя. Том 2./М.С.Анцыферов и др.-2-е изд., испр. и доп.-М.:Машгиз,1956.-559 с.

4. Букреев В.В. Железоотделитель с комбинированной электромагнитной системой. Научно-прикладный журнал Технічна електродинаміка, Інститут електродинаміки, Національна академія наук України.-2004.-№6.-С.107-110.

5. [http://erga.ru/products/magnetic\\_separators/smpr/?yclid=1798805864253490058\\$](http://erga.ru/products/magnetic_separators/smpr/?yclid=1798805864253490058$) (дата обращения: 12.12.2017).

6. <http://dimalmag.ru/contacts.html> (дата обращения: 18.12.2017).

#### R e f e r e n c e s

1. GOST 30577-98. Interstate standard. AMT & C magnetic and electromagnetic. General specifications.-M.:Gosstandart of The Republic of Belarus, 2005.

2. Karmazin V. V. Magnetic and electrical methods of enrichment. Textbook for universities/Karmazin V. V., Karmazin V. I.-M.: Nedra, 1988.-304 p.

3. Antsyferov M. S. Handbook of mechanical engineering. Vol. 2./M. S. Antsyferov etc.-2nd ed. Rev. and extra.-M.:Mashgiz,1956.-559 p.

4. Bukreev V. V. Separators with a combined electromagnet system. Naukovo-prikladni journal Technon Elektrodinamika, elektrodinamiki Institute, National Academy of Sciences of Ukraine.-2004.-No. 6.-p. 107-110.

5. [http://erga.ru/products/magnetic\\_separators/smpr/?yclid=1798805864253490058\\$](http://erga.ru/products/magnetic_separators/smpr/?yclid=1798805864253490058$) (дата обращения: 12.12.2017).

6. <http://dimalmag.ru/contacts.html> (дата обращения: 18.12.2017).

#### Parsentiev O.S., Yakovenko V.V. C OMPARATIVE EVALUATION OF PONDEROMOTIVE FORCES DEVELOPED BY MODERN DESIGNS OF SUSPENDED IRON SEPARATORS WITH PERMANENT MAGNETS ON ND-FE-B AND FE-BA

To determine the extraction capacity in the software complex "Elcut 5.1", a simulation of the mode of operation of iron separators with permanent magnets for Nd-Fe-B (Neodymium-Iron-Boron) and Fe-Ba (Ferrite-Barium) bases was made, the values of the intensity and induction of the magnetic field in the investigated ferromagnetic bodies (FB) with volume magnetic susceptibility  $\chi = 2$  and  $\chi = 5$ , with horizontal and vertical position of the latter relative to the poles of the separator, and also depending on their removal from the poles surface, separating iron into the interior of the zone and Attractions.

Specific magnetic forces, magnetic field gradients, and also ponderomotive forces acting on the removed FB from the poles surface of the iron separator are determined.

An action is suggested that allows increasing the extractivity of iron separators with permanent magnets on Nd-Fe-B and Fe-Ba substrates.

**Keywords:** extracted ferromagnetic body, iron-separator with permanent magnets on Nd-Fe-B (Neodymium-Iron-Boron) basis, iron separator with Fe-Ba (Ferrite-Barium) magnetic systems, ponderomotive force, specific magnetic susceptibility, bulk magnetic susceptibility, gradient of magnetic field, magnetic field strength, extraction zone, software complex "Elcut 5.1".

**Яковенко Валерий Владимирович**, доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой «Электромеханика» ГОУ ВПО ЛНР «Луганский национальный университет имени Владимира Даля»  
**E-mail:** el\_mex@rambler.ru

**Yakovenko Valery Vladimirovich**, Doctor of Sciences, a professor of the Chair «Electromechanics», State Educational Establishment of Higher Professional Education «Lugansk Vladimir Dahl National University».

**Парсентьев Олег Сергеевич**, ассистент кафедры «Электротехнические системы электропотребления» ГОУ ВПО ЛНР «Луганский национальный университет имени Владимира Даля», г. Луганск.  
**E-mail:** parsentevo@mail.ru

**Parsentiev Oleg Sergeivich**, a chair assistant of «Electrotechnical Systems of Electro consumption», State Educational Establishment of Higher Professional Education «Lugansk Vladimir Dahl National University» Basic field of the scientific studies is increasing energy indicators and operating reliability of electrotechnical equipment.

**Рецензент: Тарасенко Олег Владимирович**, кандидат технических наук, доцент, декан факультета электротехнических систем ГОУ ВПО ЛНР «Луганский национальный университет имени Владимира Даля».

Статья подана 28.12.2017

## ТРЕБОВАНИЯ

### к оформлению статей для публикации в научном журнале «ВЕСТНИК Луганского национального университета имени Владимира Даля»

#### ПУБЛИКАЦИЯ СТАТЕЙ

1. Документы и материалы собираются на кафедрах, ответственных за раздел, затем передаются в издательство университета.
2. К публикации принимаются статьи, материалы которых соответствуют научному направлению сборника (**определяется кафедрой, формирующей раздел в журнале**).
3. Статьи, не соответствующие научному направлению журнала или Требованиям к оформлению статей, редакцией не принимаются.
4. Для принятия решения о публикации статьи в журнале необходимо предоставить:
  - сопроводительное письмо (с указанием, что статья ранее нигде не публиковалась) от организации, где работают авторы, и сведения об авторах статьи, рецензию.

Для сотрудников ЛНУ им. В. Даля вместо письма можно предоставить выписку из заседания совета факультета и рецензию;

– электронный вариант статьи:

**Название файла статьи:** <фамилия автора\_город> например – Петров\_Луганск.doc.

Название английского файла Petrov\_Lugansk.doc.

Статья сохраняется в форматах \*.doc, \*.docx, \*.

**Внимание!** Убедительная просьба, проверить получение редакцией материалов.

**Внимание!** Редакция оставляет за собой право возвращать статьи авторам на доработку в следующих случаях: правка ошибок после вычитки, статья небрежно оформлена и не соответствует требованиям редакции.

#### ДЛЯ ВЫЧИТКИ текст статьи распечатывают в соответствии с такими требованиями:

- формат А4 (поля по 20 мм с каждой стороны);
- шрифт Times New Roman,
- размер –14 пт,
- межстрочное расстояние – 1,5 строки.
- четкая печать на лазерном или струйном принтере.

Статьи подаются в одном экземпляре, напечатанные на лазерном (струйном) принтере, с подписями всех авторов, файл статьи на диске или e-mail: [izdat.lguv.dal@gmail.com](mailto:izdat.lguv.dal@gmail.com), а также предоставляются данные на английском языке (авторы статьи, заглавие статьи; наименование организации, ведомства, должность, электронный адрес автора); аннотация; ключевые слова; список литературы латиницей).

Луганский национальный университет имени Владимира Даля,  
г. Луганск, кв. Молодежный, 20,а

**СТРУКТУРА СТАТЬИ**

УДК

**НАЗВАНИЕ СТАТЬИ (на языке текста)**  
**Фамилии, инициалы авторов (на языке текста статьи)**

**НАЗВАНИЕ СТАТЬИ (на английском языке)**  
**Фамилии, инициалы авторов (на английском языке)**

*Аннотация на языке статьи***Ключевые слова:**

Основной текст статьи, включающий следующие разделы:

**Введение****Изложение основного материала****Результаты исследований****Выводы****Л и т е р а т у р а на языке текста статьи****Л и т е р а т у р а л а т и н и ц е й****Фамилии, имя, отчество (ПОЛНОСТЬЮ), название статьи (на английском языке)***Аннотация (на английском языке)**Ключевые слова (на английском языке)***Сведения об авторах (на русском и английском языке), e-mail: (каждого автора)****Рецензент***Статья подана***ОБРАЗЕЦ статьи на сайте университета***[http://www.dahluniver.ru/about\\_university/departments/izdatelstvo/](http://www.dahluniver.ru/about_university/departments/izdatelstvo/)***ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЬИ**

**Основной текст статьи** размещается на формате А4 (80х245 мм), ориентация – книжная со следующими полями: верхнее – 3 см, нижнее – 2,25 см, левое – 2 см, правое – 11 см. От края до верхнего колонтитула – 2 см, до нижнего колонтитула – 1см, межстрочный интервал – 1,0. Запрет висячих строк. Автоматическая расстановка переносов (ширина зоны переноса слов – 0,25 см). Запрет переноса слов прописными буквами.

Текст статьи оформляется в редакторе **Microsoft Word XP/2003/2007/2010**.

Статья сохраняется в форматах \*.doc, \*.docx, \*.rtf.

### ПРИМЕР ОФОРМЛЕНИЯ

**На первой странице** в первой строке набирается УДК, без абзацного отступа. (выравнивание по левому краю). Шрифт Times New Roman, размер 10 пт, начертание – обычный.

*пропуск строки*

**Название статьи на языке текста** (русском или украинском) набирается прописными буквами (шрифт Times New Roman, размер – 11 пт, начертание – **полужирный**, выравнивание – по центру).

*пропуск строки*

**Фамилии, инициалы авторов** (количество авторов **не более 3-х** от одной организации) **на языке текста статьи** (русском или украинском) (шрифт Times New Roman, размер – 11 пт, начертание – **полужирный**, выравнивание – по центру).

*пропуск строки*

*пропуск строки*

**Название статьи на английском языке** набирается прописными буквами (шрифт Times New Roman, размер – 11 пт, начертание – **полужирный**, выравнивание – по центру).

*пропуск строки*

**Фамилии, инициалы авторов на английском языке** (шрифт Times New Roman, размер – 11 пт, начертание – **полужирный**, выравнивание – по центру).

*пропуск строки*

*пропуск строки*

*пропуск строки*

**Аннотация на языке статьи** объемом **не менее 500 знаков (не менее 8 строк)** (шрифт Times New Roman, размер – 9 пт, начертание – *курсив*, выравнивание – по ширине, без абзацного отступа).

**Ключевые слова** на языке статьи (не более 7 слов) размещаются с новой строки (шрифт Times New Roman, размер – 9 пт, начертание – *курсив*, выравнивание – по ширине, без абзацного отступа.).

*пропуск строки*

*пропуск строки*

**Основной текст** статьи набирается шрифтом Times New Roman; размер – 10 пт; начертание – обычный; межстрочный интервал – 1,0; выравнивание – по ширине, абзацный отступ – 0,75 см.

Заголовок каждого раздела (**Вступление** и т.д.) выделяют по тексту полужирным, помещают с новой строки. Текст раздела идет сразу после заголовка в той же строке.

**Статья должна включать такие разделы:**

**Введение** (постановка проблемы, задачи в общем виде и ее связь с важными научными и практическими задачами, анализ последних публикаций (не менее 3-х статей), в которых анализируется решение данной проблемы, формулировка цели статьи (отдельный абзац с новой строки – «Целью работы является...») и постановка задач);

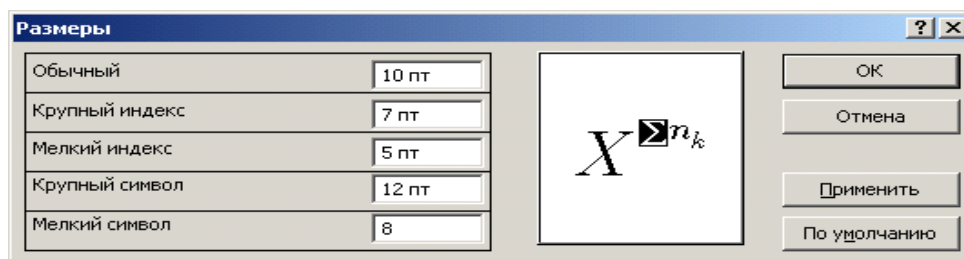
**Изложение основных материалов**

**Результаты исследований**

**Выводы**

**Литература**

**Формулы и символы** набираются только (!!!) в редакторе формул Microsoft Equation 2.0/3.0 или MathType со следующими параметрами: стиль – математический; размеры шрифта:



Формулы не должны быть деформированы (формат объекта → размер → масштаб → 100%)

Нумерация формул – в круглых скобках с выравниванием по правому краю границы текста.

**Внимание!** Убедительная просьба не увлекаться "декоративной математикой".



**Рисунки, диаграммы и графики** размещаются непосредственно в тексте без обтекания (формат рисунка → положение → обтекание → в тексте) в последовательности, в которой приводятся ссылки на них в статье, сразу после первой ссылки на них. Рисунки выполняются в форматах .jpg, .wmf или .tif. Выполненные в Word рисунки должны быть сгруппированы и стоять без обтекания либо помещены в полотно.

Подрисуночный текст, номер, название рисунка выполняется шрифтом Times New Roman; размер – 9 пт; начертание – обычный; интервал – 1,0.

Рисунки не должны быть деформированы.

**Внимание!** Запрещается внедрять графические материалы в виде объектов, связанных с др. программами, например, с КОМПАС, MS Excel и т.п. **Рисунки, выполненные непосредственно в MS Word, не принимаются.**

**Таблицы.** Таблица озаглавляется словом "Таблица" (шрифт – обычный TNR 9 пт, выравнивание – по правому краю) со следующим за ним номером. В следующей строке помещается название таблицы с прописной буквы (не более 3-х строк), (шрифт – полужирный, TNR, 9 пт, выравнивание – по центру) без заключительной точки. Шрифт заголовков столбцов и строк, содержания таблицы – обычный TNR 9 пунктов. Таблицы нумеруются арабскими цифрами и размещаются после первого упоминания (ссылки на них).

*пропуск строки*

Заголовок «**Л и т е р а т у р а**» размещается после выводов и набирается строчными буквами (шрифт Times New Roman, размер – 9 пт, начертание – **полужирный**, разреженный – 2,5 пт, выравнивание – по центру). Список литературных источников выполняется шрифтом Times New Roman; размер – 9 пт; начертание – обычный, в виде нумерованного списка с точкой без скобки.

*пропуск строки*

Заголовок «**R e f e r e n c e s**» и список литературы, набранный латиницей, помещают через интервал после списка литературы с использованием сайта <http://translit.ru> (шрифт Times New Roman; размер – 9 пт; стиль – **полужирный**, разреженный – 2,5 пт, выравнивание – по центру). Используйте, по возможности, ссылки на переводные версии журналов и книг, а не просто транслитерируйте их.

**Внимание!** Список использованной литературы в статье, в соответствии с требованиями **РИНЦ**, должен также быть представлен в романском алфавите отдельным элементом статьи под заголовком **References** повторяя список литературы на языке оригинала.

*пропуск строки*

*пропуск строки*

**Фамилии, инициалы авторов, название статьи (на украинском, если статья на русском или русском, если статья на украинском языках)** (Times New Roman, размер – 9 пт, начертание – **полужирный**, выравнивание – по ширине, абзацный отступ – 0,75 см).

**Аннотация на украинском (русском) языках** размещаются с новой строки, объемом не менее 500 знаков (не менее 8 строк) (Times New Roman, размер – 9 пт, начертание – *курсив*, выравнивание – по ширине, абзацный отступ – 0,75 см).

**Ключевые слова на украинском (русском) языках** (до 7 слов) размещаются с новой строки после аннотации (шрифт Times New Roman, размер – 9 пт, начертание – *курсив*, выравнивание – по ширине, абзацный отступ – 0,75 см).

*пропуск строки*

**Фамилии, инициалы авторов, название статьи на английском языке** (Times New Roman, размер – 9 пт, начертание – **полужирный**, выравнивание – по ширине, абзацный отступ – 0,75 см).

**Аннотация на английском языке** объемом не менее 850 знаков (не менее 12 строк) Times New Roman, размер – 9 пт, начертание – *курсив*, выравнивание – по ширине, абзацный отступ – 0,75 см).

**Аннотация должна быть:**

- *информативной* (не содержать общих слов);
- *оригинальной* (не быть калькой русскоязычной аннотации);
- *содержательной* (отражать основное содержание статьи и результаты исследований);
- *структурированной* (следовать логике описания результатов в статье);
- написана качественным английским языком (не компьютерный перевод);
- компактной (укладываться в объем 850 знаков).

**Ключевые слова на английском языке** (до 7 слов) размещаются с новой строки (шрифт Times New Roman, размер – 9 пт, начертание – *курсив*, выравнивание - по ширине, абзацный отступ – 0,75 см).

*пропуск строки*

**Сведения об авторах (на русском и английском языках): ПОЛНОСТЬЮ** фамилия, имя отчество (начертание – полужирный), ученая степень, звание, должность, место работы, адрес электронной почты (шрифт Times New Roman; размер – 9 пт; начертание – обычный, без абзацного отступа).

*пропуск строки*

**Рецензент:** указывается фамилия, инициалы, ученая степень, ученое звание рецензента из редколлегии Вестника по данному направлению (шрифт Times New Roman; размер 9 пт; начертание – обычный, без абзацного отступа).

*пропуск строки*

**Статья подана** (шрифт Times New Roman; размер 8 пт; начертание – обычный, выравнивание – по правому краю). Дата поступления статьи ставится кафедрой, отвечающей за формирование данного сборника.

**1. Статья, текст вместе с рисунками и др. нетекстовыми элементами, должна быть объемом 3...7 полных страниц (до списка литературы) формата А4 (210×297 мм).**

**ВЕСТНИК  
ЛУГАНСКОГО НАЦИОНАЛЬНОГО УНИВЕРСИТЕТА  
имени ВЛАДИМИРА ДАЛЯ  
№ 4(6) Ч.2 2017**

**Научный журнал**

Оригинал-макет

*Е.А. Гриниченко*

Подписано к печати 3.01.2018  
Формат 60x84/8. Бумага офсетная. Гарнитура Times  
Условных печатных стр. 42,3. Обл. печать. стр. 43.  
Тираж 100 экз. Изд. № 0066.

**ИЗДАТЕЛЬСТВО**  
**Луганского национального университета**  
**имени Владимира Даля**

*Свидетельство о регистрации серия МИ-СГР ИД 000003 от 20.11.2015 г.*

91034, г. Луганск, кв. Молодежный, 20,а.  
Тел.: (050) 285-80-08, (072) 138-34-80  
E-mail: izdat.lguv.dal@gmail.com  
<http://www.dahluniver.ru>