

В Е С Т Н И К

**ЛУГАНСКОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА
имени ВЛАДИМИРА ДАЛЯ**

**№ 11 (89)
2024**

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

Луганск 2024

ВЕСТНИК

ЛУГАНСКОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА
ИМЕНИ ВЛАДИМИРА ДАЛЯ

№ 11 (89) 2024

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

ОСНОВАН В 2015 ГОДУ

ВХОДИТ В БАЗУ

РИНЦ

ОСНОВАТЕЛЬ

ФГБОУ ВО

«ЛУГАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ ВЛАДИМИРА ДАЛЯ»

VESTNIK

LUGANSK
VLADIMIR DAHL
STATE UNIVERSITY

№ 11 (89) 2024

THE SCIENTIFIC JOURNAL

WAS FOUNDED IN 2015

INCLUDED INTO THE BASE OF

RISC

FOUNDER

LSU NAMED AFTER V. DAHL

Сборник входит в базу данных Российского индекса научного цитирования (РИНЦ).

ISSN 2522-4905

Главная редакционная коллегия :

Рябичев В.Д., докт. техн. наук, (главный редактор),
Витренко В.А., докт. техн. наук (зам. главн. редактора),
Авершин А.А., канд. психол. наук,
Андрійчук Н.Д., докт. техн. наук,
Атоян А.И., докт. филос. наук,
Бельдюгин В.А., канд. ист. наук,
Болдырев К.А., докт. экон. наук,
Губачева Л.А., докт. техн. наук,
Дейнека И.Г., докт. техн. наук,
Дрозд Г.Я., докт. техн. наук,
Ерошин С.С., докт. техн. наук,
Замота Т.Н., докт. техн. наук,
Исаев В.Д., докт. филос. наук,
Клименко А.С., докт. филол. наук,
Кривоколыско С.Г., докт. хим. наук,
Крохмалева Е.Г., канд. пед. наук,
Корсунов К.А., докт. техн. 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,
Панайотов К.К., канд. техн. наук,
Родионов А.В., докт. экон. наук,
Рябичева Л.А., докт. техн. наук,
Салита С.В., докт. экон. наук,
Санжаров С.Н., докт. ист. наук,
Свиридова Н.Д., докт. экон. наук,
Семин Д.А., докт. техн. наук,
Скляр П.П., докт. психол. наук,
Тарарычкин И.А., докт. техн. наук,
Тисунова В.Н., докт. экон. наук,
Утутов Н.Л., докт. техн. наук,
Фесенко Ю.П., докт. филол. наук,
Харьковский Р.Г., канд. ист. наук,
Шамшина И.И., докт. юридич. наук,
Шелюто В.М., докт. филос. наук,
Яковенко В.В., докт. техн. наук

Рекомендовано в печать Ученым советом Луганского государственного университета имени Владимира Даля.
(Протокол № 3 от 9.10.2024 г.)

СОДЕРЖАНИЕ

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ МЕХАНИКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФИКТИВНЫХ РАСЧЕТНЫХ СХЕМ Агаханов Э. К., Алибеков А. К., Джабраилов А. З.-----	7
ОПРЕДЕЛЕНИЕ АЛГОРИТМА ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ ВЫСОКОКОНЦЕНТРИРОВАННОГО ВОДОУГОЛЬНОГО ТОПЛИВА В ПУНКТЫ ПОТРЕБЛЕНИЯ ТРАНСПОРТНОЙ СЕТИ Баранов И. О., Кущенко А. В.-----	13
ВЫБОР ПНЕВМОГИДРАВЛИЧЕСКИХ АККУМУЛЯТОРОВ ДЛЯ ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТРЕХОСЕВОГО ВИБРОСТЕНДА Бодров В. В., Багаутдинов Р. М., Гойдо М. Е., Ларин О. В.-----	21
УГРОЗЫ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ГОСУДАРСТВА И ПУТИ ИХ МИНИМИЗАЦИИ Варнавская Д. С.-----	30
НЕКОТОРЫЕ ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА КАСКАДНОГО ОБМЕННИКА ДАВЛЕНИЯ Брянцев М. А., Данилейченко А. А., Ковтун А. С., Доценко Д. М., Бранспиз М. Ю.-----	34
ОБ АКТУАЛЬНЫХ ВОПРОСАХ ЦИФРОВИЗАЦИИ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ОРГАНИЗАЦИЯХ СРЕДНЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ Димитриев А. С.-----	42
ДУХОВНО-ПРАВСТВЕННОЕ ВОСПИТАНИЕ СТУДЕНТОВ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ СРЕДНЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ В УСЛОВИЯХ МОДЕРНИЗАЦИИ ОБРАЗОВАНИЯ Димитриева О. А.-----	48
ОСОБЕННОСТИ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА СМЕШЕНИЯ ПОТОКОВ В КАВИТАЦИОННОМ ГИДРОСТРУЙНОМ НАСОСЕ-СМЕСИТЕЛЕ, В СИСТЕМАХ ВОДОСНАБЖЕНИЯ И ВОДООТВЕДЕНИЯ Квенцель А. Л.-----	53
ОБОСНОВАНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ НАГНЕТАТЕЛЬНОЙ ЭРЛИФТНОЙ УСТАНОВКИ С ВОЗДУХОСТРУЙНЫМ КОМПРЕССОРОМ Кононенко А. П., Божко Р. И.-----	59
ЭКОНОМИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ РЕГИОНОВ РОССИИ В УСЛОВИЯХ КРИЗИСА Костенко С. В.-----	65
АЛГОРИТМ РАСЧЕТА ПРИБОРНОЙ СКОРОСТИ МАЛОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СТРУЙНОГО АВТОГЕНЕРАТОРА НА ЭФФЕКТЕ КОАНДА Малахова В. В., Малахов О. В., Малахова Я. О.-----	69
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ АРОЧНОЙ ПЕРЕДАЧИ СМЕШАННОГО ЗАЦЕПЛЕНИЯ С ТРАДИЦИОННОЙ ПО КОМПЛЕКСНЫМ ПОКАЗАТЕЛЯМ КАЧЕСТВА Малый Д. В., Таращанский М. Т., Чалая Е. Ю.-----	74
ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИКИ ПРОТОЧНОЙ ЧАСТИ РАЗГРУЗОЧНОГО УСТРОЙСТВА ВЫХОДНОГО КАНАЛА ЭЛЕКТРОПНЕВМАТИЧЕСКОГО КЛАПАНА СОЛЕНОИДНОГО ТИПА Мальцев Я. И., Мальцева М. О.-----	82
ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОЦЕНКИ ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА РЕГИОНА Протасов В. В., Бойко И. П.-----	89

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ МОТИВАЦИИ И СТИМУЛИРОВАНИЯ НА ПРЕДПРИЯТИИ Протасов В. В., Задохина А. А. -----	98
КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К ПРИМЕНЕНИЮ ФИНАНСОВЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ ПРИ ОЦЕНКЕ КРЕДИТОСПОСОБНОСТИ КОМПАНИИ Протасов В. В., Черненко А. В. -----	104
КАСАТЕЛЬНОЕ НАПРЯЖЕНИЕ ПРИ НЕСТАЦИОНАРНОМ ЖИДКОСТНОМ ТРЕНИИ Соколов В. И. -----	110
ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО РЕЗОНАНСА ТРУБОПРОВОДОВ КАК ОДНОЙ ИЗ ПРИЧИН ПОТЕРИ ИХ УСТОЙЧИВОСТИ И ВИБРАЦИОННОГО РАЗРУШЕНИЯ Солодовник М. Д., Ясуник С. Н., Волков И. В., Кузнецова М. Н. -----	118
ТИПОВЫЕ ОШИБКИ ПРИ РЕГУЛИРОВАНИИ СКОРОСТИ В ПНЕВМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ Сулига С. В. -----	121
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ЗНАЧЕНИЙ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПНЕВМОТРАНСПОРТНОГО УСТРОЙСТВА С НАКЛОННЫМИ ПИТАЮЩИМИ КАНАЛАМИ, ОБСЛУЖИВАЮЩИХ КОНВЕЙЕР СТЕЛЛАЖНЫХ СКЛАДОВ Турушина Н. В., Турушин В. А. -----	127
ПРАВОВЫЕ ОСНОВЫ ГОСУДАРСТВЕННОГО ФИНАНСОВОГО КОНТРОЛЯ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ Чунихина Л. Н. -----	135
СОВРЕМЕННОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ О МОДЕЛИРОВАНИИ ТРАНСПОРТНОГО ДВИЖЕНИЯ ПРИ ПОМОЩИ КЛЕТОЧНЫХ АВТОМАТОВ Юшков Н. В. -----	138
АНАЛИЗ ОТЛАДОЧНЫХ API ОС WINDOWS И ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ ОТЛАДЧИКА ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКОГО РЕЖИМА С ВОЗМОЖНОСТЬЮ ПЕРЕХВАТА ВЫЗОВОВ ЭКСПОРТИРУЕМЫХ ИЗ DLL ФУНКЦИЙ. ЧАСТЬ 2 Захарчук И. А., Захарчук А. С. -----	143
КОММУНИКАТИВНАЯ КУЛЬТУРА СОВРЕМЕННОГО ЧЕЛОВЕКА В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВИЗАЦИИ: УГРОЗЫ И РИСКИ Клипакова И. В. -----	150
АНАЛИЗ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИТУАЦИИ В ДОНБАССКОЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ, МИНИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ЭЛЕМЕНТАХ ЭЛЕКТРОСЕТИ 110 кВ СЕРГОВСКОГО РЕГИОНА «ЛУГАНСКЭНЕРГО» Парсентьев О. С. -----	155
МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ ТВЕРДЫХ ЧАСТИЦ В ВИХРЕКАМЕРНОМ НАГНЕТАТЕЛЕ Сёмин Д. А., Левашов А. Н., Ковалевский Д. С. -----	182
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ АКУСТИЧЕСКИХ И ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВИХРЕВОЙ ТРУБОПРОВОДНОЙ АРМАТУРЫ ТРАНСПОРТНО- ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ Сёмин Д. А., Тарарычкин И. А., Левашов Я. Н., Михайличенко А. А. -----	193

CONTENTS

SOLVING MECHANICAL PROBLEMS USING DUMMY CALCULATION DIAGRAMS Agakhanov E. K., Alibekov A. K., Dzhabrailov A. Z. -----	7
DETERMINATION ALGORITHM FOR TRANSPORTING HIGHLY CONCENTRATED COAL-WATER FUEL CONSUMPTION POINTS OF TRANSPORT NETWORK Baranov I. O., Kushchenko A. V. -----	13
SELECTION OF PNEUMOHYDRAULIC ACCUMULATORS FOR ELECTROHYDRAULIC CONTROL SYSTEM OF THREE-AXIS VIBRATION STAND Bodrov V. V., Bagautdinov R. M., Goydo M. E., Larin O. V. -----	21
THREATS TO ECONOMIC SECURITY OF THE STATE AND WAYS TO MINIMIZE THEM Varnavskaya D. S. -----	30
THE SOME MAIN CHARACTERISTICS OF THE CASCADE PRESSURE EXCHANGER WORKING PROCESS Bryantsev M. A., Danileychenko A. A., Kovtun A. S., Dotsenko D. M., Branspiz M. Yu. -----	34
ON CURRENT ISSUES OF DIGITALIZATION IN EDUCATIONAL INSTITUTIONS OF SECONDARY VOCATIONAL EDUCATION Dimitriev A. S. -----	42
SPIRITUAL AND MORAL EDUCATION OF STUDENTS OF EDUCATIONAL INSTITUTIONS OF SECONDARY VOCATIONAL EDUCATION IN THE CONTEXT OF MODERNIZATION EDUCATION Dimitrieva O. A. -----	48
FEATURES OF THE WORKING PROCESS OF MIXING STREAMS IN A CAVITATION HYDROTHER-JET PUMP - MIXER, IN WATER SUPPLY AND DRAINAGE SYSTEMS Kventsel A. L. -----	53
JUSTIFICATION OF THE ENERGY EFFICIENCY OF WORK INJECTION AIRLIFT UNIT WITH AN AIR JET COMPRESSOR Kononenko A. P., Bozhko R. I. -----	59
ECONOMIC SECURITY OF RUSSIAN REGIONS IN CRISIS CONDITIONS Kostenko S.V. -----	65
AN ALGORITHM FOR CALCULATING THE INSTRUMENT SPEED OF A SMALL AIRCRAFT USING A JET AUTOGENERATOR BASED ON THE COANDA EFFECT Malakhova V. V., Malakhov O. V., Malakhova I. O. -----	69
COMPARATIVE ANALYSIS OF THE ARCHED TRANSMISSION OF MIXED ENGAGEMENT WITH THE TRADITIONAL ONE ACCORDING TO COMPLEX QUALITY INDICATORS Maliy D. V., Tarashchanskii M. T., Chalaya E. U. -----	74
STUDY OF THE HYDRODYNAMICS OF THE FLOW PART OF THE UNLOADING DEVICE OF THE OUTLET CHANNEL OF AN ELECTROPNEUMATIC SOLENOID VALVE Maltsev Y. I., Maltseva M. O. -----	82

THEORETICAL AND PRACTICAL ASPECTS OF ASSESSING THE HUMAN POTENTIAL OF THE REGION Protasov V.V., Boyko I. P.-----	89
IMPROVING THE SYSTEM OF MOTIVATION AND INCENTIVES AT THE ENTERPRISE Protasov V. V., Zadokhina A. A. -----	98
AN INTEGRATED APPROACH TO THE APPLICATION OF FINANCIAL COEFFICIENTS IN ASSESSING THE CREDITWORTHINESS OF A COMPANY Protasov V. V., Chernenko A. V.-----	104
SHEARING STRESS AT NONSTATIONARY FLUID FRICTION Sokolov V. I. -----	110
PREVENTION OF PARAMETRIC RESONANCE OF PIPELINES AS ONE OF THE CAUSES OF THEIR LOSS OF STABILITY AND VIBRATION DESTRUCTION Solodovnik M. D., Yasunik S. N., Volkov I. V., Kuznetsova M. N. -----	118
TYPICAL ERRORS WHEN CONTROLLING SPEED IN PNEUMATIC SYSTEMS Suliga S. V. -----	121
DETERMINATION OF OPTIMAL VALUES OF DESIGN PARAMETERS OF A PNEUMATIC CONVEYING DEVICE WITH INCLINED FEEDING CHANNELS SERVING A CONVEYOR OF RACK WAREHOUSES Turushina N. V., Turushin V. A. -----	127
LEGAL FRAMEWORK STATE FINANCIAL CONTROL IN THE RUSSIAN FEDERATION Chunikhina L. N. -----	135
MODERN CONCEPT OF MODELING TRAFFIC BY USING CELLULAR AUTOMATA Iushkov N. V.-----	138
ANALYSIS OF WINDOWS DEBUGGING APIS AND THEIR USAGE FOR BUILDING A USER-MODE DEBUGGER WITH THE ABILITY TO INTERCEPT CALLS OF FUNCTIONS EXPORTED FROM DLL. PART 2 Zakharchuk I. A, Zakharchuk A. S. -----	143
THE COMMUNICATIVE CULTURE OF A MODERN PERSON IN THE CONTEXT OF DIGITALIZATION: THREATS AND RISKS Klipakova I. V.-----	150
ANALYSIS OF THE ENERGY SITUATION IN THE DONBASS ELECTRIC POWER SYSTEM, MINIMIZATION OF TECHNOLOGICAL LOSSES OF ELECTRICITY IN THE ELEMENTS OF THE 110 kV POWER GRID OF THE SERGOVSK REGION OF «LUGANSKENERGO» Parsentev O. S. -----	155
MODELING THE DYNAMICS OF SOLID PARTICLES IN A VORTEX CHAMBER SUPERCHARGER Syomin D. A., Levashov A. N., Kovalevsky D. S. -----	182
EXPERIMENTAL STUDY OF ACOUSTIC AND HYDRAULIC CHARACTERISTICS OF VORTEX PIPELINE VALVES OF TRANSPORT AND TECHNOLOGICAL SYSTEMS Syomin D. A., Tararitchkin I. A., Levashov Y. N., Mikhailichenko A. A. -----	193

УДК 539.3

**РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ МЕХАНИКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
ФИКТИВНЫХ РАСЧЕТНЫХ СХЕМ****Агаханов Э. К., Алибеков А. К., Джабраилов А. З.****SOLVING MECHANICAL PROBLEMS USING DUMMY
CALCULATION DIAGRAMS****Agakhanov E. K., Alibekov A. K., Dzhabrailov A. Z.**

Аннотация. Используя фиктивные расчетные схемы, основанные на эквивалентности воздействий в механике деформируемого твердого тела, получены напряженно-деформированные состояния для: балки на двух опорах, находящейся под действием массовых сил; вращающегося тонкого круглого диска; плотины треугольного поперечного сечения, находящейся под действием объемных фильтрационных сил.

Ключевые слова: механика деформируемого твердого тела, эквивалентность воздействий, фиктивная расчетная схема, напряженно-деформированное состояние.

Abstract. Using fictitious design schemes based on equivalence of effects in the mechanics of a deformable solid, stress-strain states are obtained for: a beam on two supports, which is under the influence of mass forces; a rotating thin circular disk; a dam of triangular cross-section under the action of volumetric filtration forces.

Key words: mechanics of a deformed solid, equivalence of effects, fictitious design scheme, stress-strain state.

Введение. Известно, что основная задача механики деформируемого твердого тела заключается в исследовании напряженно-деформированного состояния твердых тел при различных воздействиях. В задаче механики деформируемого твердого тела все воздействия в зависимости от их присутствия в разрешающей системе уравнений подразделяются на поверхностные силы, объемные силы и вынужденные деформации.

Решение любой задачи механики деформируемого твердого тела начинается с построения расчетной схемы. При этом большое значение в механике деформируемого твердого тела имеет метод эквивалентности воздействий, позволяющий определить напряженно-деформированное состояние твердого тела без воспроизведения условий его работы (фиктивная расчетная схема), что особенно существенно при экспериментальном решении задач, так как осуществимость

каждого воздействия ограничена возможностями техники моделирования [1, 2].

Цель исследования. Использовать фиктивные расчетные схемы, основанные на эквивалентности воздействий, для получения решений задач механики деформируемого твердого тела.

Изложение основных материалов. Рассмотрим решение трех задач механики деформируемого твердого тела с использованием фиктивных расчетных схем.

1. Балка на двух опорах под действием массовых сил. Балка на двух опорах находится под действием объемных сил

$$F_x = F_z = 0, \quad F_y = \gamma, \quad (1)$$

где γ – объемная масса материала балки.

По условиям эквивалентности воздействий действие объемных сил можно заменить

действием фиктивных поверхностных сил и вынужденных деформаций следующего вида:

$$P = \gamma, \quad \xi = \frac{1-\nu}{E} \gamma. \quad (2)$$

При этом напряжения и перемещения в исходной задаче определяются по соотношениям

$$\sigma_{ij}^{(F)} = \sigma_{ij}^{(P)} - \sigma_{ij}^{(\xi)} - \delta_{ij} P, \quad (3)$$

$$U_i^{(F)} = U_i^{(P)} - U_i^{(\xi)}.$$

$$U^{(P)} = \frac{\gamma}{E} \left[\frac{6xy}{h^2} \left(l^2 - \frac{x^2}{3} + \frac{2y^2}{3} - \frac{h^2}{10} \right) + xy - \nu x \left(\frac{3y}{2} - \frac{2y^3}{h^2} \right) \right],$$

$$V^{(P)} = \frac{\gamma}{E} \left[\frac{3y^2}{4} - \frac{y^4}{2h^2} - \frac{3\nu y^2}{h^2} \left(l^2 - x^2 + \frac{y^2}{3} - \frac{h^2}{10} \right) - \frac{\nu y^2}{2} + \right. \\ \left. + \frac{1}{2h^2} (5l^4 + x^4 - 6l^2 x^2) + \left(\frac{17}{10} + \frac{3\nu}{4} \right) (l^2 - x^2) \right].$$

Решение от заменяющих вынужденных деформаций имеет вид [3]

$$\sigma_x^{(\xi)} = \sigma_y^{(\xi)} = \tau_{xy}^{(\xi)} = 0,$$

$$U^{(\xi)} = \frac{1-\nu}{E} \gamma xy, \quad (5)$$

$$V^{(\xi)} = \frac{1-\nu}{2E} \gamma (l^2 - x^2 + y^2).$$

Решение от заменяющих поверхностных сил имеет вид [3]

$$\sigma_x^{(P)} = \frac{6\gamma}{h^2} \left(l^2 - x^2 + \frac{2}{3} y^2 - \frac{h^2}{10} \right) + \gamma,$$

$$\sigma_y^{(P)} = \frac{3\gamma}{2} - \frac{2\gamma y^3}{h^2},$$

$$\tau_{xy}^{(P)} = \frac{6\gamma xy^2}{h^2} - \frac{3\gamma x}{2}, \quad (4)$$

$$\sigma_x^{(F)} = \frac{6\gamma}{h^2} \left(l^2 - x^2 + \frac{2}{3} y^2 - \frac{h^2}{10} \right),$$

$$\sigma_y^{(F)} = \frac{\gamma}{2} - \frac{2\gamma y^3}{h^2},$$

$$\tau_{xy}^{(F)} = \frac{6\gamma xy^2}{h^2} - \frac{3\gamma x}{2}, \quad (6)$$

Подставляя в (3) выражения (2), (4) и (5) для исходной задачи имеем

$$U^{(F)} = \frac{\gamma}{E} \left[\frac{6xy}{h^2} \left(l^2 - \frac{x^2}{3} + \frac{2y^2}{3} - \frac{h^2}{10} \right) - \nu x \left(\frac{y}{2} - \frac{2y^3}{h^2} \right) \right],$$

$$V^{(F)} = \frac{\gamma}{E} \left[\frac{y^2}{4} - \frac{y^4}{2h^2} - \frac{3\nu y^2}{h^2} \left(l^2 - x^2 + \frac{y^2}{3} - \frac{h^2}{10} \right) + \right. \\ \left. + \frac{1}{2h^2} (5l^4 + x^4 - 6l^2 x^2) + \left(\frac{6}{5} + \frac{5\nu}{4} \right) (l^2 - x^2) \right].$$

2. Вращающийся тонкий круглый диск.

Объемной силой будет являться сила инерции. Тогда

$$F_x = \rho\omega^2 x, F_y = \rho\omega^2 y, F_z = 0, \quad (7)$$

где ρ — масса единицы объема материала диска, а ω — угловая скорость вращения.

Для заменяющих нагрузок имеем

$$P = \frac{\rho\omega^2 r^2}{2}, \quad \xi = \frac{1-\nu}{2E} \rho\omega^2 r^2. \quad (8)$$

Если в центре нет отверстия, то под действием заменяющих поверхностных сил диск находится в условиях однородного растяжения во всех направлениях в своей плоскости, т.е.

$$\sigma_r^{(P)} = \sigma_\theta^{(P)} = \frac{\rho\omega^2 b^2}{2},$$

$$U^{(P)} = \frac{1-\nu}{2E} \rho\omega^2 b^2 r. \quad (9)$$

Если в центре имеется отверстие, решение от заменяющих поверхностных сил имеет вид [3]

$$\sigma_r^{(P)} = \frac{\rho\omega^2}{2} \left(b^2 + a^2 - \frac{a^2 b^2}{r^2} \right),$$

$$\sigma_\theta^{(P)} = \frac{\rho\omega^2}{2} \left(b^2 + a^2 + \frac{a^2 b^2}{r^2} \right), \quad (10)$$

$$U^{(P)} = \frac{\rho\omega^2}{2E} \left[(1-\nu)(b^2 + a^2)r + (1+\nu)\frac{a^2 b^2}{r} \right].$$

Решение от заменяющих вынужденных деформаций для сплошного диска имеет вид [3]

$$\sigma_r^{(\xi)} = \frac{1-\nu}{8} \rho\omega^2 (b^2 - r^2),$$

$$\sigma_\theta^{(\xi)} = \frac{1-\nu}{8} \rho\omega^2 (b^2 - 3r^2), \quad (11)$$

$$U^{(\xi)} = \frac{1-\nu}{8E} \rho\omega^2 \left[(1-\nu)b^2 r + (1+\nu)r^3 \right].$$

Решение от заменяющих вынужденных деформаций для диска с отверстием имеет вид [3]

$$\sigma_r^{(\xi)} = \frac{1-\nu}{8} \rho\omega^2 \left(a^2 + b^2 - r^2 - \frac{a^2 b^2}{r^2} \right),$$

$$\sigma_\theta^{(\xi)} = \frac{1-\nu}{8} \rho\omega^2 \left(a^2 + b^2 - 3r^2 + \frac{a^2 b^2}{r^2} \right) \quad (12)$$

$$U^{(\xi)} = \frac{1-\nu}{8E} \rho\omega^2 \left[(1-\nu)(a^2 + b^2)r + (1+\nu) \left(r^3 + \frac{a^2 b^2}{r} \right) \right].$$

Подставляя в (3) выражения (9) и (11), (10) и (12), а также учитывая (8) для исходной задачи имеем:

- в случае сплошного диска

$$\sigma_r^{(F)} = \frac{3+\nu}{8} \rho\omega^2 (b^2 - r^2),$$

$$\sigma_\theta^{(F)} = \frac{3+\nu}{8} \rho\omega^2 b^2 - \frac{1+3\nu}{8} \rho\omega^2 r^2, \quad (13)$$

$$U^{(F)} = \frac{\rho\omega^2}{8E} \left[(1-\nu)(3+\nu)b^2 r - (1-\nu^2)r^3 \right].$$

- в случае диска с круглым отверстием

$$\sigma_r^{(F)} = \frac{3+\nu}{8} \rho\omega^2 \left(b^2 + a^2 - \frac{a^2 b^2}{r^2} - r^2 \right),$$

$$\sigma_\theta^{(F)} = \frac{3+\nu}{8} \rho\omega^2 \left(b^2 + a^2 + \frac{a^2 b^2}{r^2} - \frac{1+3\nu}{3+\nu} r^2 \right), \quad (14)$$

$$U^{(F)} = \frac{\rho\omega^2}{8E} \left[(1-\nu)(3+\nu)(b^2 + a^2)r + (1+\nu)(3+\nu)\frac{a^2 b^2}{r} - (1-\nu^2)r^3 \right].$$

3. Плотина треугольного поперечного сечения под действием объемных фильтрационных сил. Известно, что объемные фильтрационные силы F связаны с потерями напора по пути фильтрации зависимостью [4]

$$F = - \gamma \operatorname{grad} H, \quad (15)$$

где γ — объемная масса воды; H — напорная функция.

Значение и направление действия этих сил определяются с достаточной точностью расчетом или с использованием экспериментальных методов [5, 6].

Сложный характер распределения объемных фильтрационных сил усложняет теоретическое решение задачи. Поэтому в работе [4] при оценке взвешивания сооружения действие объемных фильтрационных сил предлагают заменить статически эквивалентной поверхностной нагрузкой, распределенной по закону эпюры давлений в воде в плоскости подошвы сооружения.

Согласно установленным в работе [1] условиям эквивалентности воздействий, объемные фильтрационные силы (15) можно заменить поверхностной нагрузкой P и вынужденными деформациями ξ следующего вида:

$$P = -\gamma H, \quad (16)$$

$$\xi = -\frac{1-2\nu}{E} \gamma H. \quad (17)$$

Известно, что напорная функция H для установившегося фильтрационного потока удовлетворяется уравнению Лапласа, т. е. $\nabla^2 H = 0$. Тогда, функция вынужденных деформаций (17), также является гармонической в области плотины. В силу гармоничности вынужденных деформаций $\sigma_{ij}^{(\xi)} = 0$ и зависимость (3) принимает вид

$$\sigma_{ij}^{(F)} = \sigma_{ij}^{(P)} - \delta_{ij} P. \quad (18)$$

Таким образом, определение напряжений от объемных фильтрационных сил в рассматриваемой задаче сводится к определению напряжений от поверхностных сил (16). Для определения последних возьмем функцию напряжений в виде суммы полиномов второй и третьей степени. Тогда выражения для напряжений имеют вид

$$\begin{aligned} \sigma_x^{(P)} &= c_3 x + d_3 y + c_2, \\ \sigma_y^{(P)} &= a_3 x + b_3 y + a_2, \\ \tau_{xy}^{(P)} &= -b_3 x - c_3 y - b_2. \end{aligned} \quad (19)$$

Входящие в эти формулы постоянные определим из граничных условий на вертикальной и наклонной гранях.

На вертикальной грани имеем $y=0$, $\sigma_y = -\gamma H$, $\tau_{xy} = 0$.

Используя формулы (19), найдем $a_3=0$, $a_2 = -\gamma H$; $b_3=0$, $b_2=0$.

С учетом этого формулы (19) для напряжений примут вид

$$\begin{aligned} \sigma_x^{(P)} &= c_3 x + d_3 y + c_2, \\ \sigma_y^{(P)} &= -\gamma H, \\ \tau_{xy}^{(P)} &= -c_3 y. \end{aligned} \quad (20)$$

Граничные условия на наклонной грани имеют вид

$$\begin{aligned} -\sigma_x^{(P)} \sin \alpha + \tau_{xy}^{(P)} \cos \alpha &= \gamma(H-x) \sin \alpha, \\ -\tau_{yx}^{(P)} \sin \alpha + \sigma_y^{(P)} \cos \alpha &= -\gamma(H-x) \cos \alpha. \end{aligned}$$

Подставляя в эти равенства выражения (20) и учитывая, что уравнение наклонной грани $y=x \operatorname{tg} \alpha$, получим

$$\begin{aligned} -(c_3 x + d_3 x \operatorname{tg} \alpha + c_2) \sin \alpha - c_3 x \operatorname{tg} \alpha \cos \alpha &= \gamma(H-x) \sin \alpha, \\ c_3 x \operatorname{tg} \alpha \sin \alpha - \gamma H \cos \alpha &= -\gamma(H-x) \cos \alpha. \end{aligned}$$

Решая эти уравнения, найдем

$$\begin{aligned} c_2 &= -\gamma H; \quad c_3 = \gamma \operatorname{tg}^2 \alpha \\ d_3 &= -2\gamma \operatorname{tg}^3 \alpha + \gamma \operatorname{tg} \alpha. \end{aligned}$$

Запишем окончательные выражения для напряжений от заменяющих поверхностных сил:

$$\begin{aligned} \sigma_x^{(P)} &= \gamma x \operatorname{tg}^2 \alpha + \gamma \operatorname{tg} \alpha (1 - 2 \operatorname{tg}^2 \alpha) y - \gamma H, \\ \sigma_y^{(P)} &= -\gamma H, \\ \tau_{xy}^{(P)} &= -\gamma x \operatorname{tg}^2 \alpha. \end{aligned} \quad (21)$$

Это решение можно получить и другим путем. Используя принцип независимости (суперпозиции) сил поверхностную нагрузку P (16) можно разделить на две части

$$P = -p - \gamma(H-x),$$

где p – гидростатическое давление воды.

Решение от гидростатического давления воды имеет вид [7]

$$\begin{aligned}\sigma_x &= \gamma c t g^2 \alpha - 2 \gamma c t g^3 \alpha, \\ \sigma_y &= -\gamma, \\ \tau_{xy} &= -\gamma c t g^2 \alpha.\end{aligned}\quad (22)$$

Решение от второй части поверхностной нагрузки, получаемое аналогично решению (21) с помощью функции напряжений в виде суммы полиномов второй и третьей степени, имеет вид:

$$\begin{aligned}\sigma_x &= \gamma c t g \alpha - \gamma H, \\ \sigma_y &= -\gamma(H - x), \\ \tau_{xy} &= 0.\end{aligned}\quad (23)$$

Легко проверить, что выражения (22) и (23) в сумме также дают решение (21).

Тогда, согласно (16) и (18), для напряжений от объемных фильтрационных сил получаем

$$\begin{aligned}\sigma_x^{(F)} &= \gamma c t g^2 \alpha + \gamma c t g \alpha (1 - 2 c t g^2 \alpha) y, \\ \sigma_y^{(F)} &= 0, \\ \tau_{xy}^{(F)} &= -\gamma c t g^2 \alpha.\end{aligned}\quad (24)$$

Выводы. Полученные результаты позволяют заключить следующее:

1. Для определения напряженно-деформированного состояния тел можно использовать фиктивные расчетные схемы, основанные на эквивалентности воздействий.

2. Фиктивные расчетные схемы, основанные на эквивалентности воздействий, можно использовать при решении и других более сложных задач механики деформируемого твердого тела, требующих применения и экспериментальных методов исследования напряжений и деформаций.

Список источников

1. Агаханов Э. К. О развитии комплексных методов решения задач механики деформируемого твердого тела // Вестник Дагестанского государственного технического университета. – 2013. – № 2. – С. 39-45.
2. Агаханов Г.Э. О математическом моделировании воздействия порового давления на грунт // Вестник Дагестанского государственного технического университета. – 2015. – № 1. – С. 8-16.
3. Тимошенко С. П., Гудьер Дж., Теория упругости. М., Наука, 1975. – 576 с.
4. Флорин В. А., Основы механики грунтов, т.1, Госстройиздат, 1959.
5. Аравин В.И., Нумеров С.Н., Фильтрационные расчеты гидротехнических сооружений, Л. –М., Госстройиздат, 1955. – 291 с.
6. Дружинин Н.И., Метод электрогидродинамических аналогий и его применение при исследовании фильтрации. М.-Л., Госэнергоиздат, 1956. – 346 с.
7. Варданыан Г. С., Андреев В. И., Атаров Н. М., Горшков А. А., Соппротивление материалов с основами теории упругости и пластичности, Под ред. Г. С. Варданыяна. – М.: Изд. АСВ, 1995. – 568 с.

References

1. Agakhanov E.K. On the development of complex methods for solving problems of mechanics of a deformable solid//Bulletin of the Dagestan State Technical University. 2013. № 2. S. 39-45.
2. Agakhanov G. E. On mathematical modeling of the effect of pore pressure on the soil//Bulletin of the Dagestan State Technical University. 2015. № 1. S. 8-16.
3. Timoshenko S.P., Gudier J., Theory of elasticity. M., Nauka, 1975, 576 p.
4. Florin V.A., Fundamentals of Soil Mechanics, vol. 1, Gosstroyizdat, 1959.
5. Aravin V.I., Numerov S.N., Filtration calculations of hydraulic structures, L.-M., Gosstroyizdat, 1955, 291 p.
6. Druzhinin N.I., Method of electrohydrodynamic analogies and its application in the study of filtration, M.-L., Gosenergoizdat, 1956, 346 p.
7. Vardanyan G.S., Andreev V.I., Atarov N.M., Gorshkov A.A., Resistance of materials with the foundations of the theory of elasticity and plasticity, Ed. G. S. Vardanyan, M., Ed. DIA, 1995, 568 p.

Статья поступила в редакцию 19.08.2024

Информация об авторах

Агаханов Элифхан Керимханович, д.т.н., профессор кафедры «Транспортные сооружения и строительные материалы» ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный технический университет», г. Махачкала.
E-mail: Elifhan@bk.ru.

Алибеков Али Казибекович, к.т.н., доцент кафедры «Нефтегазовое дело» ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный технический университет», г. Махачкала.
E-mail: ali.dgtu@rambler.ru.

Джабраилов Адалет Залович, аспирант кафедры «Транспортные сооружения и строительные материалы» ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный технический университет», г. Махачкала.
E-mail: zalovich84@mail.ru.

Information about the authors

Agakhanov Elifkhan Kerimkhanovich, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Transport Structures and Construction Materials, Dagestan State Technical University, Makhachkala.
E-mail: Elifhan@bk.ru.

Alibekov Ali Kazibekovich, Ph.D. Associate Professor, Department of Oil and Gas Well Drilling, Dagestan State Technical University, Makhachkala.
E-mail: ali.dgtu@rambler.ru.

Dzhabrailov Adalet Zalovich, postgraduate student of the Department of Transport Structures and Construction Materials, Dagestan State Technical University, Makhachkala.
E-mail: zalovich84@mail.ru.

Для цитирования:

Агаханов Э. К., Алибеков А. К., Джабраилов А. З. Решение задач механики с использованием фиктивных расчетных схем // Вестник Луганского государственного университета имени Владимира Даля. – 2024. – № 11(89). – С. 7-12.

For citation:

Agakhanov E. K., Alibekov A. K., Dzhabrailov A. Z. Solving mechanical problems using dummy calculation diagrams // Vestnik of Lugansk State University named after Vladimir Dahl. – 2024. – № 11(89). – P. 7-12.

УДК 629.016

ОПРЕДЕЛЕНИЕ АЛГОРИТМА ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ ВЫСОКОКОНЦЕНТРИРОВАННОГО ВОДОУГОЛЬНОГО ТОПЛИВА В ПУНКТЫ ПОТРЕБЛЕНИЯ ТРАНСПОРТНОЙ СЕТИ

Баранов И. О., Кущенко А. В.

DETERMINATION ALGORITHM FOR TRANSPORTING HIGHLY CONCENTRATED COAL-WATER FUEL CONSUMPTION POINTS OF TRANSPORT NETWORK

Baranov I. O., Kushchenko A. V.

Аннотация. В работе выполнен анализ основных соотнесенных затрат на перевозку водоугольного топлива различными видами транспорта. Установлено, что эффективность транспортирования водоугольного топлива промышленным гидротранспортом определяется на основе следующих важнейших факторов, таких как: высокая скорость оборота и пропускная способность; высокая производительность труда и низкая стоимость перевозок; сокращение потерь и повышение качества транспортируемого продукта. Реализован подход определения оптимального порядка транспортирования водоугольного топлива в пункты потребления на маршруте выбранной транспортной сети. Предложены алгоритм Прима и метод "ветвей и границ", позволяющие определить кратчайшие расстояния между включаемыми пунктами в один маршрут гидротранспортной сети по принципу минимального остовного дерева. Выполнена проверка результатов нахождения оптимального порядка укладки трубопроводов на маршруте гидротранспортной сети.

Ключевые слова: водоугольное топливо, алгоритм Прима, транспортная сеть, гидротранспорт, эксплуатационные расходы.

Abstract. The paper presents an analysis of main correlated costs transporting coal-water fuel by different modes transport. It has been established that efficiency of transporting coal-water fuel by industrial hydrotransport is determined based on following key factors: high turnover rate and throughput; high labor productivity and low transportation costs; reduced losses and improved quality transported product. An approach has been implemented determine optimal order of transporting coal-water fuel consumption points along route selected transport network. Pumps are installed at preparation points based on economic feasibility depending on needs (total, for each point) of consumers in accordance with data. The Prim algorithm and "branch and boundary" method are proposed, which make it possible determine shortest distances between points included in one route of hydrotransport network based on minimum spanning tree principle. The results of finding the optimal order of laying pipelines along route of hydrotransport network have been verified.

Key words: coal-water fuel, Prim algorithm, transport network, hydrotransport, operating costs.

Введение. Водоугольное топливо (ВУТ) – это композиционное искусственное жидкое топливо на основе угля и воды, по своей структуре оно является разновидностью высококонцентрированной водоугольной суспензии (ВКУС). В основу процесса его подготовки положена механохимическая

активация, в ходе которой разрушается структура угля. При измельчении угля увеличивается его активная поверхность, а примеси удаляются. Измельченный уголь и воду, которая в этом процессе играет немаловажную роль, смешивают, добавляют реагенты-пластификаторы, в результате чего

образуется специфическая дисперсная система, обладающая технологически приемлемой текучестью и стабильностью. Массовая концентрация ВУТ – 60–80% угля, размер частиц не превышает 250 мкм. Для получения требуемой фракции угля используют специальные измельчители. Наилучшие результаты достигнуты при получении бимодального распределения частиц по размерам с определенным соотношением крупной (100–250 мкм) и мелкой (< 40 мкм) фракций, что позволяет без ухудшения реологических свойств ВУТ получить эффект «максимальной упаковки» и значительно повысить концентрацию суспензии. Поскольку такая суспензия достаточно быстро расслаивается с осаждением угольных частиц, к ней добавляется реагент-пластификатор, массовая доля которого в ВУТ составляет около 1-2%. В целях подготовки ВУТ в соответствии с требованиями потребителей к нему можно добавлять различные добавки и присадки [1].

ВУТ можно приготовить почти из всех марок угля, а также из отходов углеобогащения, однако необходимо исходить из наибольшего распространения используемого угля с целью уменьшения себестоимости ВУТ. Вязкость кондиционных топливных суспензий, как правило, находится в пределах 0,5–1,2 Па·с, седиментационная стабильность – до 30 суток [1, 2].

Актуальность исследований.

Транспортировку такого топлива, в том числе и на расстоянии нескольких десятков километров на территории предприятия, осуществляют с помощью гидротранспортных систем (ГТС), а также в емкостях – автомобильных и железнодорожных цистернах [3]. ВУТ можно использовать как заменитель природного газа и мазута в котлоагрегатах. По сравнению с традиционным сжиганием пылевидных углей (в частности, на ТЭС) использование ВУТ в теплоэнергетике позволяет уменьшить выбросы в атмосферу оксидов азота, серы и угарного газа, а также обеспечивает полноту выгорания органики до 99%, что значительно улучшает экологическую ситуацию окружающей среды [4]. О пользе применения ВУТ в теплоэнергетике свидетельствуют такие его преимущества как возможность наиболее полного использования инфраструктуры энергетических котлоагрегатов при минимальной реконструкции устройств и систем топливоподачи, высокая упаковочная плотность

при хранении по сравнению со штабелированием сухого угля, полная взрыво- и пожаробезопасность, отсутствие потерь при транспортировке, возможность хранения под землей.

В [5] приведены основные соотнесенные затраты на перевозку ВУТ различными видами транспорта. Показатели соответствуют грузопотоку до 1 млн т/год. При таком объеме транспортировки, поставки по трубопроводам требуют значительно меньших затрат, чем железнодорожным или автомобильным транспортом. При увеличении расстояния транспортировки до 100 км и более эффективность железнодорожных перевозок растет. Для большего объема перевозки ВУТ эффективность трубопроводного транспорта проявляется еще более выражено. Схематически целесообразная область использования различных видов транспорта показана на рис. 1. Железнодорожный транспорт имеет преимущество при дальности перевозок более 100 км. Его эффективность повышается при неравномерном в годовом разрезе графика поставок ВУТ и заметно зависит от грузонапряженности железнодорожных сетей. Автомобильные перевозки целесообразны при небольших объемах поставок и радиусе развозки 40-60 км, причем с уменьшением грузопотока предельная дальность перевозок повышается. Трубопроводный транспорт ВУТ эффективен при объемах транспортировки, как правило, более 0,4-0,5 млн т/год. Выполненные оценки отражают средние условия. При исследовании эффективности конкретных транспортных систем роль различных видов транспорта может изменяться.

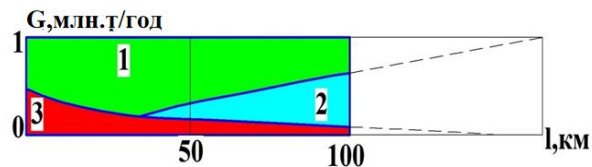


Рис. 1. Рациональный участок применения различных видов транспорта для перевозки ВУТ в зависимости от объемов груза и расстояния перевозки:

1 – участок целесообразного внедрения трубопроводного транспорта (гидротранспортные системы); 2 – участок целесообразного применения железнодорожного транспорта; 3 – участок целесообразного использования автомобильного транспорта

Расчеты подтверждают эффективность дальнейшего расширения сети трубопроводов на территории предприятий. Оценка такого прироста сети трубопроводов по эффективной протяженности показывает, что она должна увеличиться более чем на 50 км, что заметно больше, чем простое физическое увеличение сети. Такое отличие объясняется ростом среднего диаметра и последующей интенсификации транспортировки ВУТ.

При расчетах, обоснованиях и анализе учитываются следующие формы проявления эффективности развития трубопроводного транспорта: улучшение структуры перевозок ВУТ; высвобождение мощностей железнодорожного транспорта; повышение надежности снабжения потребителей ВУТ; заметное увеличение производительности труда и высвобождение значительного количества работников, в том числе занятых на тяжелых работах (сливо-наливные операции); высокая энергетическая эффективность; экологическая нейтральность; короткие сроки освоения новых грузопотоков; социальные последствия улучшения условий труда и культуры производства.

Эффективность трубопроводного транспорта ВУТ определяется на основе следующих важнейших факторов: высокой скорости оборота и пропускной способности; высокой производительности труда и низкой стоимости перевозок; сокращение потерь и повышение качества транспортируемого продукта; комплексирование производства, снабжение и потребление ВУТ; применение наиболее эффективной техники и технологии транспортировки по трубопроводам, высокой автоматизации и т.д.

В состав текущих расходов включаются ежегодные расходы на эксплуатацию ГТС, в том числе заработная плата персонала – основная и дополнительная, расходы на топливо и электроэнергию, стоимость потерь транспортируемого продукта, плата процентов за кредит, расходы на текущий ремонт, а также амортизационные отчисления на полное восстановление и капитальный ремонт.

Абсолютный эффект за год исчисляется как разница стоимости поставок за вычетом всех затрат в год по всему циклу производства и транспорта, а также затрат на производство транспортируемой продукции. Он корректируется с учетом результатов и затрат на производство продукции в соединенных звеньях производства.

Цель статьи. Целью работы является разработка алгоритма транспортировки высококонцентрированного водоугольного топлива в пункты потребления транспортной сети промышленным гидротранспортом.

Изложение основного материала. Для решения экономически и экологически привлекательного проекта по переводу необходимого оборудования предприятий на водоугольное топливо необходимо организовать транспортировку ВУТ от пункта отправки к потребителям используя промышленный гидротранспорт. Наиболее целесообразно разместить один пункт отправки ВУТ. Задача сводится к минимизации затрат на транспортирование.

При выборе варианта транспортировки ВУТ между пунктом отправления и потребителями предприятия первым вариантом А1 является только лучевое соединение пункта отправления с каждым из пунктов потребления. Вариант А2 – это комбинация лучевого соединения пункта отправления с пунктом потребления и последовательного соединения. В результате решения транспортной задачи необходимо определить оптимальную схему транспортировки ВУТ и определить оптимальные параметры работы гидротранспортной системы предприятия (диаметры трубопроводов, параметры транспортных насосов, скорость транспортирования и потери давления на участках транспортной сети).

На первом этапе необходимо определить оптимальную схему транспортировки ВУТ (топологию транспортной сети) с учетом размещения пунктов потребления, расстояний и потребностей предприятия. Оптимизировать приведенные суммарные затраты на трубопроводы, насосное и другое оборудование, электрическую энергию на транспортировку и определить диаметры трубопроводов элементов промышленной ГТС.

Предлагаемый перечень потребителей ВУТ (предприятий) приведен в табл. 1.

Таблица 1

Расстояния между потребителями ВУТ, м.

х	П1	П2	П3	П4	П5	П6
П1	150	500	2500	6360	6240	6660
П2	500	150	2800	6100	6360	6500
П3	2500	2800	150	9000	8780	9340
П4	6360	6100	9000	150	2300	300
П5	6240	6320	8780	2300	150	2100
П6	6660	6500	9340	300	2100	150

Необходимый расход котлов предприятий (потребителей), м³/час: 1) П1 = Q₁=16,8 м³/час; 2) П2 = Q₂=4,2 м³/час; 3) П3=Q₃=8,4 м³/час; 4) П4=Q₄=12,6 м³/час; 5) П5=Q₅=4,2 м³/час; 6) П6=Q₆=4,2 м³/час.

Суммарная подача на все пункты потребления ВУТ составляет 50,4 м³/час. Насосы устанавливаются на пунктах приготовления исходя из экономической целесообразности в зависимости от потребностей (суммарных, для каждого пункта) потребителей в соответствии с данными [6, 7].

Определение оптимального порядка транспортирования ВУТ в пункты потребления на маршруте выбранной транспортной сети возможно выполнить с помощью алгоритма Прима и метода "ветвей и границ", применение которого позволяет определить кратчайшие расстояния между включаемыми пунктами в один маршрут (принцип минимального остовного дерева).

Представление табл. 1 реализуется с помощью матрицы смежности:

$$\text{Для невзвешенного графа:} \begin{pmatrix} 011111 \\ 101111 \\ 110111 \\ 111011 \\ 111101 \\ 111110 \end{pmatrix} \quad (1)$$

Для взвешенного графа:

$$\begin{pmatrix} 0 & 500 & 2500 & 6360 & 6240 & 6660 \\ 500 & 0 & 2800 & 6100 & 6320 & 6500 \\ 2500 & 2800 & 0 & 9000 & 8780 & 9340 \\ 6360 & 6100 & 9000 & 0 & 2300 & 300 \\ 6240 & 6320 & 8780 & 2300 & 0 & 2100 \\ 6660 & 6500 & 9340 & 300 & 2100 & 0 \end{pmatrix} \quad (2)$$

Алгоритм Прима – представляет собой алгоритм построения минимального остовного дерева взвешенного связного неориентированного графа [7, 8]. На вход алгоритма подается связанный неориентированный граф. Для каждого ребра задается его стоимость [9].

Сначала берется произвольная вершина и находится ребро, инцидентное данной вершине, имеющее наименьшую стоимость [10, 11]. Обнаруженное ребро и соединенные им две вершины образуют дерево [12]. Затем, рассматриваются ребра графа, один конец которых – принадлежащая дереву вершина, а другой – нет; из этих ребер выбирается ребро наименьшей стоимости. Выбранное на каждом шагу ребро присоединяется к дереву. Рост дерева происходит до тех пор пока не будут исчерпаны все вершины исходного графа. Результатом работы метода является дерево малой стоимости. Матрица смежности, описывающая дуги графа представлена в табл. 2.

Таблица 2

Матрица смежности

Узлы	1	2	3	4	5	6	В виде списка:			
Дуги							Дуги	Узлы	Булевы переменные (Т-направленная дуга; F-ненаправленная дуга)	Вес
1	1	1	0	0	0	0	1	1,2	F	500
2	0	1	1	0	0	0	2	2,3	F	2800
3	1	0	1	0	0	0	3	1,3	F	2500
4	0	1	0	1	0	0	4	2,4	F	6100
5	0	1	0	0	0	1	5	2,6	F	6500
6	1	0	0	1	0	0	6	1,4	F	6360
7	1	0	0	0	0	1	7	1,6	F	6660
8	0	0	1	0	0	1	8	3,6	F	9340
9	0	1	0	0	1	0	9	2,5	F	6320
10	1	0	0	0	1	0	10	1,5	F	6240
11	0	0	1	0	1	0	11	3,5	F	8780
12	0	0	0	1	0	1	12	4,6	F	300
13	0	0	0	1	1	0	13	4,5	F	2300
14	0	0	0	0	1	1	14	5,6	F	2100
15	0	0	1	1	0	0	15	3,4	F	9000

Результаты исследований. Данный метод построения минимального остовного дерева не требует ни сортировки, ни проверки на цикличность на каждом шаге. Построение остовного дерева Γ_o начинается с произвольной вершины X_1 . Затем среди ребер, инцидентных X_1 , выбираем ребро (X_1, X_2) с наименьшим весом и включаем его в дерево Γ_o . Повторяя процесс, выполняем поиск наименьшего по весу ребра, соединяющего вершины X_1 и X_2 с некоторой другой вершиной графа X_3 .

Процесс включения ребер продолжаем до тех пор пока все вершины исходного графа Γ не будут включены в дерево Γ_o . Построенное дерево будет минимальным остовным. Доказательство того, что последовательность шагов 1–4 приводит к построению минимального остовного дерева. Реализация схемы ближайшего соседа формирования остовного дерева выполнена в алгоритме, где

исходный граф $\Gamma = (X, U, \Phi)$ представляет собой таблицу весов $W_e = [w_{ij}]$, веса несуществующих ребер считаются равными $+\infty$. Под весами ребер понимаются их длины. Основное дерево $\Gamma_o = (X_o, U_o, \Phi)$ формируется с помощью реберного списка U_o и списка вершин X_o . В качестве отметок устанавливаются их порядковые номера $Xi = \{1, 2, \dots, n\}$. Для каждой вершины $x \in X$ графа, еще не включенной в дерево, поддерживается минимальное расстояние до множества ранее включенных вершин в X_o . Это осуществляется с помощью двух векторов $dist[xi]$ и $prev[xi]$; где $dist[xi]$ равно минимальному расстоянию от $x \in X$ до вершины $prev[xi] \in X_o$. Обновление значений векторов $dist[xi]$ и $prev[xi]$ выполняется на каждом шаге алгоритма при пополнении X_o новой вершиной.

Алгоритм ближайшего соседа для остовного дерева имеет вид:

```

X = {1, 2, ..., n_i}; {Метки вершин графа}
nX = |X_i|; {Количество вершин в графе}
v = rand(1, |X_i|); {Произвольная вершина v ∈ X}
X_o = {v}; {Вершины остовного дерева}
X = X_i \ {v}; {Удалить v с X}
U_o = ∅; {Ребра остовного дерева}
W_T = 0; {Вес остовного дерева}
for x ∈ X_i do begin
    dist[x] = We[x_i, v]; {Минимальное расстояние от x до v ∈ X_o}
    prev[x] = v; {Ребро(v, x_i) длина которого dist[x_i]}
end;
while |X_o| ≠ nX do begin
    dist[v] = mindist[x_i]; {v ∈ X – вершина для }
    {x ∈ X_o – включения}
    X_o = X_o ∪ {v}; {Добавить вершину}
    X = X_i \ {v}; {Удалить вершину}
    U_o = U_o ∪ {prev[v], v}; {Добавить ребро}
    W_T = W_T + dist[v]; {Изменить вес дерева}
    {Изменить dist[x_i] – вектор расстояний}
    for x ∈ X_i do if dist[x] > We[v, x_i] then begin
        dist[x_i] = We[v, x_i];
        prev[x_i] = v;
    end;
end.

```

Сложность алгоритма ближайшего соседа определяется двумя вложенными циклами по числу вершин.

В каждом из циклов производится константное число операций. Следовательно, сложность составляет $O(|X_i|^2)$. Исходные данные представляются матрицей весов его ребер в текстовом файле Near.in.

В результате проведенных расчетов определена топология вершин, ребер и расстояний:

$$\begin{aligned}
 V &= \{1, 2, 3, 4, 5, 6\}; \\
 E_X &= \{(1, 2), (1, 3), (2, 4), \{4, 6\}, \{6, 5\}\}; \\
 E_L &= \{\{500\}, \{2500\}, \{6100\}, \{300\}, \{2100\}\}
 \end{aligned} \quad (4)$$

Общая длина маршрута, взятого для примера, составила 11500 м. Соппротивление зависит от скорости транспортировки ВУТ [5].

Проверка результатов нахождения оптимального порядка укладки трубопроводов на маршруте была произведена путем расчета данной сети методом «ветвей и границ». Для применения которого определены кратчайшие расстояния между пунктами, включаемыми в один маршрут. Результаты расчетов свидетельствуют о целесообразности использования метода «ветвей и границ» и алгоритма Прима, так как результаты расчетов полностью совпали.

Выводы. В работе выполнен анализ основных соотнесенных затрат на перевозку водоугольного топлива различными видами транспорта, при этом показатели соответствуют грузопотоку до 1 млн. т/год. При таких объемах перевозок трубопроводный гидротранспорт требует значительно меньших затрат, чем железнодорожный или автомобильный транспорт. Промышленный трубопроводный транспорт эффективен при объемах транспортировки водоугольного топлива, как правило, более 0,4-0,5 млн т/год.

Установлено, что эффективность транспортирования водоугольного топлива промышленным гидротранспортом определяется на основе следующих важнейших факторов, таких как: высокая скорость оборота и пропускная способность; высокая производительность труда и низкая стоимость перевозок; сокращение потерь и повышение качества транспортируемого продукта; эффективность производства, снабжение и потребление топлива; применение наиболее эффективной техники и технологии транспортировки по трубопроводам, высокий уровень автоматизации.

В работе реализован подход определения оптимального порядка транспортирования водоугольного топлива в пункты потребления на маршруте выбранной транспортной сети. Предложены алгоритм Прима и метод "ветвей и границ", применение которых позволяет определить кратчайшие расстояния между включаемыми пунктами в один маршрут гидротранспортной сети (принцип минимального остовного дерева).

Проверка результатов нахождения оптимального порядка укладки трубопроводов на маршруте произведена при использовании указанных методов. Определены кратчайшие расстояния между пунктами, включаемыми в один маршрут. Результаты расчетов свидетельствуют о целесообразности

использования метода «ветвей и границ» и алгоритма Прима, так как результаты расчетов полностью совпали.

Список источников

1. Viktor A. Kuznetsov, Daria M. Bozheeva, Andrey V. Minakov. (2024). Numerical study on processes of oxy-fuel combustion of coal-water slurry in the furnace chamber. *Fuel*. Volume 371, Part B. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2024.132034>.
2. K.; Aliukov, S. (2022). Experimental and Mathematical Investigation of the Thermophysical Properties of Coal–Water Slurries Based on Lignite. *Energies*, 15, 3814. <https://doi.org/10.3390/en15103814>
3. Daniil S. Romanov, Ksenia Yu. Vershinina, Vadim V. Dorokhov, Pavel A. Strizhak. (2022). Rheology, ignition, and combustion performance of coal-water slurries: Influence of sequence and methods of mixing. *Fuel*. Volume 322, 124294. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2022.124294>
4. E.Yu. Shadrin, I.S. Anufriev, E.B. Butakov, E.P. Kopyev, S.V. Alekseenko, L.I. Maltsev, O.V. Sharypov. (202). Coal-water slurry atomization in a new pneumatic nozzle and combustion in a low-power industrial burner. *Fuel*. Volume 303, 121182. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2021.121182>
5. Баранов И. О. Повышение эффективности транспортировки высококонцентрированного водоугольного топлива в гидротранспортных системах промышленных предприятий : дис. ... канд. техн. наук : 05.22.12 / Баранов Игорь Олегович. – Днепропетровск, 2019. – 217 с.
6. Забиняко Г. И. Организация параллельных вычислений в некоторых задачах дискретной оптимизации / Г. И. Забиняко, Е. А. Котельников // Сибирский журнал вычислительной математики. – 2008. – Т. 11, № 4. – С. 414– 422
7. Зенков А.В., Гвоздяков Д.В. Водоугольные суспензии: приготовление, свойства, характеристики (краткий обзор) // Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2023. Т.25. № 4. С.83-100. [doi:10.30724/1998-9903-2023-25-4-83-100](https://doi.org/10.30724/1998-9903-2023-25-4-83-100).
8. Мурко В.И., Баранова М.П., Папченков А.И. Разработка и обоснование инновационного технологического комплекса по добыче и переработке угля // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2023. – № 12. – С. 16–27. DOI: 10.25018/0236_1493_2023_12_0_16.
9. Тюхтина А. А. Методы дискретной оптимизации: Часть 1: Учебно-методическое

пособие. – Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2014. – 62 с.

10. Dingsong Yao, Hui Zhao, Zhekun Chen, Haifeng Liu. (2022). Preparation of high concentration coal water slurry with good fluidity based on only modified fine particles under bimodal distribution using the second fluid and the second particle. *Fuel*. Volume 317, 123461. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2022.123461>

11. You Qi, Luming Zhang, Shiyuan Zhang, Qiufeng Cao, Fengjie Guo, Zhaohui Wang, Qing Cao. (2023). Synthesis and performance of a novel bio-oil-based dispersant as coal water slurry. *Fuel*. Volume 337, 126883. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2022.126883>

12. James M. Hammerton, Hu Li, Andrew B. Ross. (2020). Char-diesel slurry fuels for microgeneration: Emission characteristics and engine performance. *Energy*. Volume 207, 118225. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.118225>

References

1. Viktor A. Kuznetsov, Daria M. Bozheeva, Andrey V. Minakov. (2024). Numerical study on processes of oxy-fuel combustion of coal-water slurry in the furnace chamber. *Fuel*. Volume 371, Part B. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2024.132034>.

2. Osintsev, K., Aliukov, S. (2022). Experimental and Mathematical Investigation of the Thermophysical Properties of Coal–Water Slurries Based on Lignite. *Energies*, 15, 3814. <https://doi.org/10.3390/en15103814>

3. Daniil S. Romanov, Ksenia Yu. Vershinina, Vadim V. Dorokhov, Pavel A. Strizhak. (2022). Rheology, ignition, and combustion performance of coal-water slurries: Influence of sequence and methods of mixing. *Fuel*. Volume 322, 124294. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2022.124294>

4. E.Yu. Shadrin, I.S. Anufriev, E.B. Butakov, E.P. Kopyev, S.V. Alekseenko, L.I. Maltsev, O.V. Sharypov. (202). Coal-water slurry atomization in a new pneumatic nozzle and combustion in a low-power industrial burner. *Fuel*. Volume 303, 121182. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2021.121182>

5. Baranov I. O. Improving the efficiency of transportation of highly concentrated coal-water fuel in hydraulic transport systems of industrial enterprises: dis. ... Cand. of Engineering Sciences: 05.22.12 / Baranov Igor Olegovich. - Dnepropetrovsk, 2019. - 217 p.

6. Zabinyako G. I. Organization of parallel computing in some discrete optimization problems / G. I. Zabinyako, E. A. Kotelnikov // *Siberian Journal of Computational Mathematics*. - 2008. - Vol. 11, No. 4. - P. 414-422

7. Zenkov A. V., Gvozdyakov D. V. Coal-water suspensions: preparation, properties, characteristics (brief review) // *News of higher educational institutions. PROBLEMS OF ENERGY*. 2023. Vol. 25. No. 4. P. 83-100. doi:10.30724/1998-9903-2023-25-4- 83-100.

8. Murko V. I., Baranova M. P., Papchenkov A. I. Development and justification of an innovative technological complex for coal mining and processing // *Mining information and analytical bulletin*. - 2023. - No. 12. - P. 16-27. DOI: 10.25018/0236_1493_2023_12_0_16.

9. Tyukhtina A. A. Discrete optimization methods: Part 1: Tutorial. – Nizhny Novgorod: Nizhny Novgorod State University, 2014. – 62 p.

10. Dingsong Yao, Hui Zhao, Zhekun Chen, Haifeng Liu. (2022). Preparation of high concentration coal water slurry with good fluidity based on only modified fine particles under bimodal distribution using the second fluid and the second particle. *Fuel*. Volume 317, 123461. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2022.123461>

11. You Qi, Luming Zhang, Shiyuan Zhang, Qiufeng Cao, Fengjie Guo, Zhaohui Wang, Qing Cao. (2023). Synthesis and performance of a novel bio-oil-based dispersant as coal water slurry. *Fuel*. Volume 337, 126883. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2022.126883>

12. James M. Hammerton, Hu Li, Andrew B. Ross. (2020). Char-diesel slurry fuels for microgeneration: Emission characteristics and engine performance. *Energy*. Volume 207, 118225. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.118225>

Статья поступила в редакцию 20.09.2024

Информация об авторах

Баранов Игорь Олегович, к.т.н., доцент, доцент кафедры «Транспортные технологии» Луганского государственного университета имени Владимира Даля, г. Луганск.
E-mail: baranov_90@inbox.ru

Кущенко Александр Владимирович, к.т.н., доцент, доцент кафедры «Транспортные технологии» Луганского государственного университета имени Владимира Даля, г. Луганск.
E-mail: akm48848@gmail.com

Information about the authors

Baranov Igor Olegovich, candidate of Sciences, a dosent of the Department of Transport Technologies Lugansk State University named after Vladimir Dahl, Lugansk.
E-mail: baranov_90@inbox.ru

Kushchenko Alexander Vladimirovich, Candidate of Sciences, a dosent of the Department of Transport Technologies, Lugansk State University named after Vladimir Dahl, Lugansk.
E-mail: akm48848@gmail.com

Для цитирования:

Баранов И. О., Кущенко А. В. Определение алгоритма транспортирования высококонцентрированного водоугольного топлива в пункты потребления транспортной сети // Вестник Луганского государственного университета имени Владимира Даля. – 2024. – № 11(89). – С. 13-20.

For citation:

Baranov I.O., Kushchenko A.V. Determination algorithm for transporting highly concentrated coal-water fuel consumption points of transport network // Vestnik of Lugansk State University named after Vladimir Dahl. – 2024. – № 11(89). – P. 13-20.

УДК 62-822

ВЫБОР ПНЕВМОГИДРАВЛИЧЕСКИХ АККУМУЛЯТОРОВ ДЛЯ ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТРЕХОСЕВОГО ВИБРОСТЕНДА

Бодров В. В., Багаутдинов Р. М., Гойдо М. Е., Ларин О. В.

SELECTION OF PNEUMOHYDRAULIC ACCUMULATORS FOR ELECTROHYDRAULIC CONTROL SYSTEM OF THREE-AXIS VIBRATION STAND

Bodrov V. V., Bagautdinov R. M., Goydo M. E., Larin O. V.

Аннотация. Приведена информация о составе универсального трехосевого сервогидравлического вибростенда, предназначенного для проведения вибрационных испытаний (на режимах синусоидальных и широкополосных случайных вибрационных воздействий) космических аппаратов на этапах наземной экспериментальной отработки и приемо-сдаточных испытаний летных образцов на нагрузки, возникающие при транспортировке на космодром и в процессе запуска ракеты-носителя. Стенд разработан и изготовлен в ООО «Уральский инжиниринговый центр» (г. Челябинск). Рассмотрена методика выбора пневмогидравлических аккумуляторов, обеспечивающих снижение колебаний давления в напорных и сливных каналах силовых сервогидравлических приводов, создающих вибрации универсальной платформы-переходника стенда с установленным на ней объектом испытаний в вертикальном и горизонтальном направлениях.

Ключевые слова: вибростенд; электрогидравлическая система управления; пневмогидравлические аккумуляторы; выбор параметров.

Abstract. Information is provided on the composition of a universal three-axis servo-hydraulic vibration stand designed for vibration testing (in the modes of sinusoidal and broadband random vibration effects) of space-crafts at the stages of ground experimental testing and acceptance tests of samples at the loads arising during transportation to the spaceport and during launch of the rocket carrier. The stand was designed and manufactured into Ural Engineering Center LLC (Chelyabinsk). That is considered a methodology for selecting pneumohydraulic accumulators that reduce pressure fluctuations in the pressure and drain channels of power servo-hydraulic drives that create vibrations of the universal platform-adaptor of the stand with the test object installed on it in the vertical and horizontal directions.

Key words: vibration stand; electrohydraulic control system; pneumohydraulic accumulators; selection of parameters.

Введение. Коллективом ООО «Уральский инжиниринговый центр» выполнена работа по проектированию, изготовлению и запуску в эксплуатацию универсального трехосевого сервогидравлического вибростенда (УТСВ) для АО «Информационные спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнёва.

Стенд предназначен для проведения вибрационных испытаний (на режимах синусоидальных и широкополосных случайных вибрационных воздействий) космических

аппаратов (КА) на этапах наземной экспериментальной отработки и приемо-сдаточных испытаний летных образцов на нагрузки, возникающие при транспортировке на космодром и в процессе запуска ракеты-носителя.

По сравнению с существующими вибростендами подобного назначения [1, 2, 3] УТСВ отличается расширенными функциональными возможностями, позволяя, в частности, проводить вибрационные испытания

КА при различных способах их крепления. Масса объектов, которые могут испытываться на УТСВ, составляет до 5,5 т, а их высота — до 10 м.

В состав стенда (рис. 1, 2) входят следующие составные части:

а) сейсмическая масса (СМ);
б) универсальная платформа-переходник (УПП) для крепления объекта, подлежащего вибрационным испытаниям [4];

в) силовые сервогидравлические приводы (ССГП) для реализации поступательного движения УПП вместе с объектом вибрационных испытаний в трех взаимно перпендикулярных направлениях (в вертикальном и двух горизонтальных) в соответствии с заданными законами;

г) насосно-аккумуляторная установка (НАУ) для осуществления питания рабочей жидкостью высокого давления ССГП, включая гидростатические подшипники гидроцилиндров ССГП;

д) комплект пневмоподушек для вывешивания СМ вместе с УПП и объектом вибрационных испытаний относительно фундамента монтажно-испытательного корпуса (МИК);

е) комплект пневмоподушек для вывешивания УПП вместе с объектом вибрационных испытаний относительно СМ;

ж) пневматическая система регулирования и контроля давления в пневмоподушках, предназначенных для осуществления вывешивания СМ вместе с УПП и объектом вибрационных испытаний относительно фундамента МИК;

з) пневматическая система регулирования и контроля давления в пневмоподушках, предназначенных для осуществления вывешивания УПП с объектом вибрационных испытаний относительно СМ;

и) силовые электрошкафы;

к) шкафы автоматики и пульта управления;

л) вспомогательное технологическое оборудование.

В составе стенда использованы ССГП производства фирмы "Team Corporation" (США) в количестве пяти штук ($n_{гц,в}=5$) для создания вибраций в вертикальном направлении и четырех штук для создания вибраций в горизонтальном направлении (по две штуки в каждом из двух взаимно перпендикулярных направлений).



Рис. 1. Общий вид УТСВ с макетом КА, установленным на УПП, в процессе пусконаладочных работ стенда



Рис. 2. Общий вид УТСВ:

1 – сейсмическая масса (СМ); 2 – универсальная платформа-переходник (УПП); 3 – пневмоподушка вывешивания УПП относительно СМ; 4 – силовой сервогидравлический привод (ССГП) для создания вибраций в вертикальном направлении; 5 – ССГП для создания вибраций в горизонтальном направлении

В каждый из ССГП входят: поршневой недифференциальный гидроцилиндр двухстороннего действия с двухсторонним штоком, гидростатическими опорами и датчиком положения штока; сервоклапан типа Team V20/V350/MBP350; два баллонных пневмогидравлических аккумулятора (ПГА) типа МВР-350 с номинальной вместимостью по 1,0 л каждый, один из которых подсоединен к напорному каналу сервоклапана, а другой к его сливному каналу; гидростатический подшипник типа Team Model 50/2.8, предназначенный для передачи силового воздействия от гидроцилиндра к УПП во всем диапазоне развиваемых усилий только в направлении испытаний с обеспечением в определенных диапазонах подвижности по остальным пяти степеням свободы.

Гидроцилиндры Team 62/10,0, входящие в состав ССГП, используемых для создания вибраций в вертикальном направлении, имеют

эффективную площадь поршня $A_{п.в}$, равную $A_{п.в} = 64,516 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$, а гидроцилиндры Team 62/18,2, входящие в состав ССГП, используемых для создания вибраций в горизонтальном направлении, имеют

эффективную площадь поршня $A_{п.г}$, равную $A_{п.г} = 116,1288 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$.

Данные о параметрах вибрации, подлежащих воспроизведению на стенде с объектом испытаний, приведены в табл. 1.

Таблица 1

Параметры вибраций

Параметр	Числовое значение
Диапазон воспроизводимых частот вибраций, Гц	5 ... 310
Максимальные развиваемые ускорения УПП с объектом испытаний, м/с^2 : при синусоидальной вибрации в вертикальном направлении в горизонтальном направлении при широкополосной случайной вибрации в вертикальном направлении в горизонтальном направлении	17,85 7,36 8,04 8,14
Максимальные (пиковые) развиваемые скорости УПП с объектом испытаний, м/с : при синусоидальной вибрации в вертикальном направлении в горизонтальном направлении при широкополосной случайной вибрации в вертикальном направлении в горизонтальном направлении	0,57 0,22 0,24 0,08
Максимальные (от пика до пика) перемещения УПП с объектом испытаний, мм: при синусоидальной вибрации в вертикальном направлении в горизонтальном направлении при широкополосной случайной вибрации в вертикальном направлении в горизонтальном направлении	36,2 14,3 9,42 9,45

Целью настоящей работы являлось снижение колебаний давления в напорных и сливных каналах силовых сервогидравлических приводов, создающих вибрации универсальной платформы-переходника стенда с установленным на ней объектом испытаний в вертикальном и горизонтальном направлениях.

Результаты предварительных расчетов. С учетом того обстоятельства, что максимальные значения скоростей вибрации в вертикальном и в каждом из горизонтальных направлений составляют соответственно: $v_{в.макс} = 0,57 \text{ м/с}$ и $v_{г.макс} = 0,22 \text{ м/с}$ (табл. 1) – и вибрационные испытания в каждом из направлений производятся поочередно (т.е. не совмещаются во времени), максимальный потребный расход рабочей жидкости, которая должна подводиться к гидроцилиндрам в процессе работы стенда, соответствует проведению вибрационных испытаний в вертикальном направлении при $v_{в.макс} = 0,57 \text{ м/с}$ и составляет (без учета утечек и перетечек

рабочей жидкости, а также упругих деформаций элементов стенда):

$$Q_{в.макс} = n_{гц.в} A_{п.в} v_{в.макс} = 5 \cdot 64,516 \cdot 10^{-4} \cdot 0,57 \text{ м}^3/\text{с} = 0,0184 \text{ м}^3/\text{с} = 1103,22 \text{ л/мин.}$$

Указанные максимальные значения скоростей $v_{в.макс} = 0,57 \text{ м/с}$ и $v_{г.макс} = 0,22 \text{ м/с}$ относятся к случаю проведения испытаний при осуществлении синусоидальных вибраций (табл. 1). При этом текущее значение Q_v потребного расхода рабочей жидкости на входе сервоклапанов, управляющих гидроцилиндрами ССГП, создающими вибрации в вертикальном направлении, изменяется по следующему закону:

$$Q_v = Q_{в.макс} \cdot |\sin(\omega t)|,$$

а среднее за цикл значение расхода составляет:

$$Q_{в.ср} = \frac{\omega}{\pi} \int_0^{\pi/\omega} Q_{в.макс} \sin(\omega t) dt = \frac{2}{\pi} Q_{в.макс} = 2 \cdot 1103,22 / \pi \text{ л/мин} = 702,33 \text{ л/мин.}$$

где ω – угловая частота синусоидальных вибраций; t – время.

В соответствии с техническим заданием на проектирование стенда суммарная подача основных насосов насосной установки, от которых производится питание рабочей жидкостью сервоклапанов, управляющих гидроцилиндрами, используемыми для создания вибраций испытываемого объекта, должна составлять не менее значения 900 л/мин, которое превосходит полученное значение $Q_{в.ср} = 702,33$ л/мин, что внесло соответствующие коррективы в подход к выбору насосов.

Для подачи рабочей жидкости на входы сервоклапанов в составе НАУ стенда используются четыре ($k_n = 4$) аксиально-поршневых регулируемых насоса (с регуляторами давления с внешним управлением) типа 415.0.250.DRG производства ОАО "Пневмостроймашина" (г. Екатеринбург). Номинальный рабочий объем этих насосов равен $q_n = 250$ см³/об.

При рабочей частоте вращения вала приводящего электродвигателя указанных насосов, равной $n_n = 960$ об/мин, с учетом объемного коэффициента полезного действия (КПД) насосов $\eta_o = 0,95$ их суммарная подача $Q_{н.с}$ при номинальном значении рабочего объема составляет:

$$Q_{н.с} = k_n q_n n_n \eta_o = 4 \cdot 250 \cdot 10^{-3} \cdot 960 \cdot 0,95 \text{ л/мин} = 912 \text{ л/мин.}$$

Поскольку даже при максимальном значении рабочего объема выбранных силовых насосов их суммарная подача $Q_{н.с} = 912$ л/мин меньше максимального потребного расхода рабочей жидкости $Q_{в.мах} = 1103$ л/мин, то для компенсации недостаточной подачи насосов в моменты, когда возникает необходимость в повышенных значениях расхода, используются ПГА. Пневмогидравлические аккумуляторы также необходимы для сглаживания пульсаций давления, обусловленных инерционностью работы регуляторов давления силовых насосов. В соответствии с указанными обстоятельствами и с учетом значительного расстояния (порядка 50 м) от НАУ до места расположения ССПП признано целесообразным иметь ПГА,

установленные как в непосредственной близости от насосных агрегатов, так и в непосредственной близости от ССПП.

Очевидно, что при прочих равных условиях наиболее высокие требования к номинальной вместимости ПГА предъявляются в том случае, когда амплитуды изменения как перемещения, так и скорости движения поршней гидроцилиндров ССПП имеют максимальные значения.

Согласно данным, приведенным в табл. 1, наибольшая амплитуда перемещения соответствует случаю осуществления синусоидальных вибраций в вертикальном направлении и составляет:

$$z_{в.мах} = 18,1 \text{ мм} = 0,0181 \text{ м.}$$

При синусоидальном законе вибраций амплитудные значения скорости $v_{в.мах} = 0,57$ м/с и перемещения $z_{в.мах} = 0,0181$ м связаны следующим образом:

$$v_{в.мах} = \omega z_{в.мах}.$$

Откуда:

$$\omega = v_{в.мах} / z_{в.мах} = 0,57 / 0,0181 \text{ рад/с} = 31,49 \text{ рад/с}$$

или

$$f = \omega / (2\pi) = 31,49 / (2\pi) \text{ Гц} = 5,012 \text{ Гц.}$$

При круговой частоте вибраций $f = 5,012$ Гц (которая является достаточно высокой для регуляторов насосов) маловероятным является изменение подачи силовых насосов в соответствии с текущей потребностью в расходе рабочей жидкости.

Поэтому при определении необходимой номинальной вместимости $V_{а.н}$ ПГА было принято, что суммарная подача силовых насосов в процессе работы стенда не меняется и находится на уровне средней потребной в рассматриваемых условиях подачи $Q_{в.ср} = 702,33$ л/мин. В связи с тем, что на самом деле суммарная подача насосов может быть ощутимо больше (вплоть до значения $Q_{н.с} = 912$ л/мин), полученное при вышеуказанном допущении значение $V_{а.н}$ является завышенным (даже с поправкой на возможные перетечки рабочей жидкости в сливную гидролинию в ССПП).

Текущее изменение объема $\Delta V_{\text{ПГА}}$ рабочей жидкости в ПГА на одном полупериоде вибраций определяется по формуле:

$$\begin{aligned}\Delta V_{\text{ПГА}} &= Q_{\text{в.ср}} t - \int_0^t Q_{\text{в.мах}} \sin(\omega t) dt = \\ &= Q_{\text{в.ср}} t + \frac{Q_{\text{в.мах}}}{\omega} [\cos(\omega t) - 1].\end{aligned}$$

Взяв производную $d\Delta V_{\text{ПГА}}/dt$ и приравняв ее к нулю, получаем следующие выражения для определения моментов времени t_1 и t_2 , в которые изменение объема $\Delta V_{\text{ПГА}}$ на одном полупериоде вибраций приобретает соответственно максимальное $\Delta V_{\text{ПГА.мах}}$ и минимальное $\Delta V_{\text{ПГА.мин}}$ значения:

$$\begin{aligned}t_1 &= \frac{1}{\omega} \arcsin \frac{Q_{\text{в.ср}}}{Q_{\text{в.мах}}}; \\ t_2 &= \frac{1}{\omega} \left(\pi - \arcsin \frac{Q_{\text{в.ср}}}{Q_{\text{в.мах}}} \right).\end{aligned}$$

При $Q_{\text{в.ср}} = 702,33$ л/мин, $Q_{\text{в.мах}} = 1103$ л/мин и $\omega = 31,49$ рад/с на основании вышеприведенного выражения для вычисления $\Delta V_{\text{ПГА}}$ для моментов времени $t = t_1$ и $t = t_2$ получаем:

$$\Delta V_{\text{ПГА.мах}} = 0,1229 \text{ л};$$

$$\Delta V_{\text{ПГА.мин}} = -0,1229 \text{ л}.$$

В соответствии с полученным результатом маневровый объем $V_{\text{а.м}}$ ПГА должен составлять не менее значения $V_{\text{а.м.мин}}$:

$$\begin{aligned}V_{\text{а.м.мин}} &= \Delta V_{\text{ПГА.мах}} - \Delta V_{\text{ПГА.мин}} = \\ &= (0,1229 + 0,1229) \text{ л} = 0,2458 \text{ л}.\end{aligned}$$

Приняв коэффициент запаса k_v ПГА по маневровому объему равным $k_v = 1,25$, при

расчете номинальной вместимости $V_{\text{а.н}}$ исходили из следующего значения маневрового объема $V_{\text{а.м}}$ ПГА:

$$V_{\text{а.м}} = k_v V_{\text{а.м.мин}} = 1,25 \cdot 0,2458 \text{ л} = 0,307 \text{ л}.$$

Значение номинальной вместимости $V_{\text{а.н}}$ ПГА зависит: от требуемого значения его маневрового объема $V_{\text{а.м}}$, от избыточного давления зарядки p_3 , от минимального рабочего избыточного давления $p_{\text{мин}}$, от максимального рабочего избыточного давления $p_{\text{мах}}$, от характера протекания процессов зарядки и разрядки ПГА и имеющих при этом место значениях показателя политропы n .

При одинаковых значениях показателя политропы в процессе зарядки и разрядки ПГА формула для определения номинальной вместимости $V_{\text{а.н}}$ ПГА имеет вид [5]:

$$V_{\text{а.н}} = \frac{V_{\text{а.м}} \left[(p_{\text{мах}} + p_{\text{атм}}) / (p_3 + p_{\text{атм}}) \right]^{1/n}}{\left[(p_{\text{мах}} + p_{\text{атм}}) / (p_{\text{мин}} + p_{\text{атм}}) \right]^{1/n} - 1},$$

где $p_{\text{атм}}$ — атмосферное давление.

При прочих равных условиях большее расчетное значение $V_{\text{а.н}}$ соответствует случаю, когда процесс сжатия газа при зарядке ПГА может рассматриваться как изотермический:

$$V_{\text{а.н}} = \frac{V_{\text{а.м}} (p_{\text{мах}} + p_{\text{атм}}) / (p_3 + p_{\text{атм}})}{\left[(p_{\text{мах}} + p_{\text{атм}}) / (p_{\text{мин}} + p_{\text{атм}}) \right]^{1/n} - 1}.$$

С учетом того, что давление в гидроприводе стенда согласно техническому заданию должно составлять не менее значения $p_{\text{раб.мин}} = 20,7$ МПа, при расчетах значения $V_{\text{а.н}}$ значение $p_{\text{мах}}$ было принято равным $p_{\text{мах}} = 21,0$ МПа.

Чем больше значение $p_{\text{мин}}$ и чем меньше значение p_3 , тем больше при прочих равных условиях получается расчетное значение

необходимой номинальной вместимости $V_{a.n}$ ПГА.

В данном случае значение p_{min} было принято близким к значению p_{max} и равным $p_{min} = 20,7$ МПа.

Давление p_3 предварительной зарядки ПГА газом выбирают несколько меньшим давления p_{min} (то есть $p_3 < p_{min}$) с тем, чтобы в процессе эксплуатации аккумулятора исключить полное вытеснение из него рабочей жидкости. Очевидно, что на величину объема жидкости, остающейся ПГА при давлении p_{min} , номинальная вместимость аккумулятора недоиспользуется, поэтому, если на то нет

особых требований, необходимо стремиться к наименьшему различию значений p_3 и p_{min} .

Однако при зарядке ПГА азотом из баллонов, в которых он обычно поставляется при давлении 15 МПа, и отсутствии агрегата, обеспечивающего повышение давления азота, наиболее экономически целесообразным (с точки зрения сокращения необходимого числа баллонов) является значение давления зарядки p_3 порядка $p_3 = 12,0$ МПа.

Ниже в табл. 2 представлены результаты расчетов по вышеприведенным формулам необходимой номинальной вместимости $V_{a.n}$ ПГА при ряде значений показателя политропы n .

Таблица 2

Результаты расчетов необходимой номинальной вместимости $V_{a.n}$ пневмогидравлического аккумулятора

Исходные данные для расчета	
Маневровый объем $V_{a.m}$ ПГА, л	0,307
Избыточное давление зарядки p_3 , МПа	12,0
Минимальное рабочее избыточное давление p_{min} , МПа	20,7
Максимальное рабочее избыточное давление p_{max} , МПа	21,0
Атмосферное давление $p_{атм}$, МПа	0,1
Результаты расчетов	
n	$V_{a.n}$, л
при одинаковых значениях показателя политропы n на этапах разрядки и зарядки ПГА	
1,0	37,117
1,1	38,842
1,2	40,647
1,3	42,512
1,4	44,422
при политропном процессе разрядки и изотермическом процессе зарядки ПГА	
1,0	37,117
1,1	40,856
1,2	44,594
1,3	48,333
1,4	52,071

Принятые технические решения и оценка их эффективности. С учетом полученных результатов, для установки в области стенда (на минимально допустимом по конструктивным соображениям удалении от ССПП) были выбраны два пневмогидравлических баллонных

аккумулятора типа AS35P360CA9V-1-11-COC0/0 ("EPE ITALIANA s.r.l.", Италия). Данные ПГА рассчитаны на номинальное давление $p_{ном} = 36,0$ МПа, каждый из них имеет номинальную вместимость $V_{a.n} = 35$ л.

Дополнительно еще один подобный (из соображений унификации) ПГА был установлен в непосредственной близости от силовых насосов типа 415.0.250.DRG и присоединен своей жидкостной полостью к их общей напорной гидролинии для компенсации инерционности регуляторов давления насосов и поддержания на выходе указанных насосов практически постоянного давления (рис. 3).

С целью предварительной оценки эффективности установки ПГА с номинальной вместимостью по 35 л в непосредственной близости от ССГП проведено имитационное моделирование с использованием пакета прикладных программ ПРАНС-ПК [6].

Моделирование процессов, происходящих в напорной гидролинии стенда, выполнено для случая изменения расхода рабочей жидкости на входе ССГП, соответствующего изменению вертикальной скорости перемещения УПП с объектом испытаний по закону

$$v_B = v_{B, \max} \sin(\omega t).$$



Рис. 3. Общий вид насосно-аккумуляторной установки стенда

При математическом моделировании длинные трубопроводы были представлены как совокупность нескольких последовательно соединенных коротких участков, для потока на каждом из которых использована сосредоточенная модель движения жидкости, соответствующая Г-образной схеме замещения [5, 7].

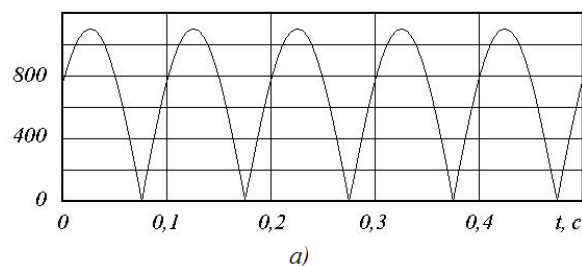
Согласно результатам расчетов по сравнению со случаем, когда используются лишь входящие в состав каждого ССГП (со стороны их напорного канала) баллонные пневмогидравлические аккумуляторы вместимостью по 1 л, при прочих равных условиях при давлении зарядки всех ПГА, равном $p_3 = 12,0$ МПа, размах колебаний

давления на входе ССГП снижается с 1,155 МПа до значения 0,234 МПа при использовании одного дополнительного ПГА с номинальной вместимостью 35 л и до значения 0,132 МПа при использовании двух таких дополнительных аккумуляторов, а при давлении зарядки всех ПГА, равном $p_3 = 19,5$ МПа, – с 0,942 МПа до значения 0,174 МПа при использовании одного дополнительного ПГА с номинальной вместимостью 35 л и до значения 0,097 МПа при использовании двух таких дополнительных аккумуляторов.

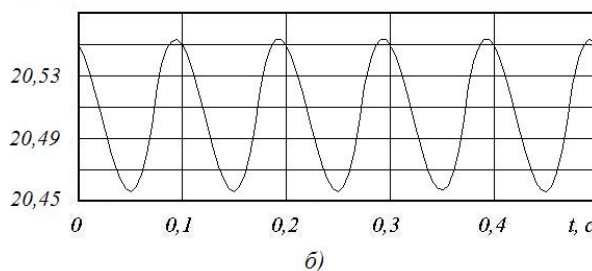
В качестве примера на рис. 4 приведены графики переходных процессов, полученные при моделировании для случая подключения к входному каналу ССГП двух ПГА при давлении зарядки всех ПГА, равном $p_3 = 19,5$ МПа.

Для аналогичного режима испытаний также выполнен расчет колебаний давления на выходе ССГП при постоянном давлении на выходе сливного трубопровода, поддерживаемом посредством соответствующего переливного клапана и равном $p_{\text{подп}} = 1,2$ МПа, и давлении зарядки ПГА, установленных на выходе ССГП, равном $p_3 = 1,1$ МПа.

$Q_{\text{ССГП}}, \text{ л/мин}$



$p_{\text{ССГП}}, \text{ МПа}$



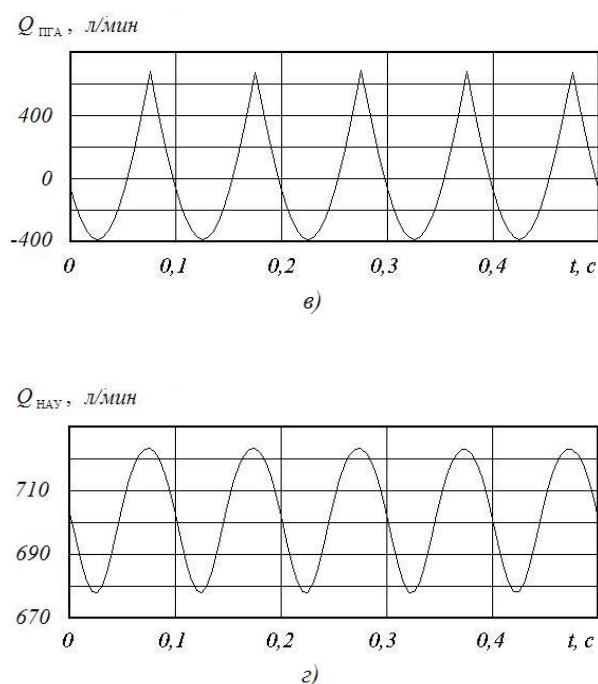


Рис. 4. Графики изменения в функции времени t :
 а) суммарного расхода $Q_{\text{ССПГ}}$ жидкости на входе ССПГ; б) давления $p_{\text{ССПГ}}$ жидкости на входе ССПГ;
 в) суммарного расхода $Q_{\text{ПГА}}$ жидкости на входе ПГА; г) расхода $Q_{\text{НАУ}}$ жидкости на выходе НАУ

При прочих равных условиях по сравнению со случаем, когда используются лишь входящие в состав каждого ССПГ (со стороны их сливного канала) баллонные пневмогидравлические аккумуляторы вместимостью по 1 л, размах колебаний давления на выходе ССПГ согласно результатам расчетов снижается с 0,072 МПа до значения 0,036 МПа при использовании одного дополнительного ПГА с номинальной вместимостью 10 л. Учитывая данный результат, признано целесообразным подключение к сливной гидролинии ССПГ в области стенда (на минимально допустимом по конструктивным соображениям удалении от ССПГ) пневмогидравлического баллонного аккумулятора типа AS10P360CA9V-1-11-COC0/0 ("EPE ITALIANA s.r.l.", Италия), имеющего номинальную вместимость $V_{\text{а.н}} = 10$ л.

Экспериментальное апробирование работы стенда в период пуско-наладочных работ показало, что использование выбранных ПГА обеспечивает высокую стабильность значений давления в напорной гидролинии силовых

насосов и в напорных и сливных каналах ССПГ на всех возможных режимах испытаний.

Заключение. Использование дополнительных ПГА, подключенных к напорной гидролинии силовых насосов и к напорным и сливным каналам ССПГ позволило свести до минимума колебания давления в соответствующих местах гидросистемы стенда и тем самым снизить динамические нагрузки на силовые насосы, напорные и сливные трубопроводы, что должно способствовать повышению их долговечности. Колебания давления в напорных и сливных каналах ССПГ при проведении вибрационных испытаний являются возмущающими воздействиями, поэтому их минимизация способствует повышению точности создания на стенде вибраций с требуемыми характеристиками.

Приемо-сдаточные испытания стенда подтвердили соответствие характеристик его работы требованиям технического задания и целесообразность принятых технических решений.

Список источников

1. Виброиспытания космических аппаратов / Соустин Б. П., Тестоведов Н. А., Рудомёткин А. Г., Алькин А. В. – М.: Наука, 2000. 171 с.
2. Парафесь С.Г., Туркин И.К. Методы и средства динамических испытаний конструкций летательных аппаратов: Учебное пособие. М.: Изд-во МАИ, 2002. 132 с.
3. Скорина С. Ф. Испытания изделий авиационной, ракетной и космической техники: Учебное пособие. СПб: Изд-во ГУАП, 2017. 137 с.
4. Патент РФ № 2769895. Платформа вибростенда / Бодров В.В., Багаутдинов Р.М., Сапожников С.Б., Кувайцев А.В., Ларин О.В. // Опул. в Б.И. 2022. № 10.
5. Гойдо М. Е. Проектирование объемных гидроприводов (Б-ка конструктора). М.: Машиностроение, 2009. 304 с.
6. Автоматизированное проектирование машиностроительного гидропривода / Бажин И.И., Беренгард Ю.Г., Гайцгори М.М. и др.; Под общ. ред. Ермакова С.А. М.: Машиностроение, 1988. 312 с.
7. Бодров В. В., Багаутдинов Р. М., Гойдо М.Е., Староверов Ю. А. Расчет гидравлического удара при работе ковочного пресса // Гидравлика: Сетевое издание. 2023. № 19 (июнь). 10 с. <http://hydrojournal.ru/item/217-raschet-gidravlichesкого-udara-pri-rabote-kovochnogo-pressa>

References

1. Vibration testing of spacecraft / Soustin B.P., Testoyedov N.A., Rudometkin A.G., Alkin A.V. M.: Nauka, 2000. 171 p.
2. Parafes S.G., Turkin I.K. Methods and means of dynamic testing of aircraft structures: Textbook. M.: MAI Publishing House, 2002. 132 p.
3. Skaryna S.F. Testing of aviation, rocket and space technology products: Textbook. St. Petersburg: GUAP Publishing House, 2017. 137 p.
4. RF Patent No. 2769895. Vibration stand platform / Bodrov V.V., Bagautdinov R.M., Sapozhnikov S.B., Kuvay-tsev A.V., Larin O.V. // Publ. in B.I. 2022. No. 10.

5. Goydo M.E. Designing of fluid power drives (Designer library). M.: Mashinostroenie, 2009. 304 p.
6. Automated design of machine-building hydraulic drive / Bazhin I.I., Berengard Yu.G., Gaitsgori M.M. and etc.; Under general ed. Ermakova S.A. M.: Mashinostroenie, 1988. 312 p.
7. Bodrov V.V., Bagautdinov R.M., Goydo M.E., Staroverov Yu.A. Calculation of hydraulic shock during operation of the forging press // Hydraulics: Network publication. 2023. No. 19 (June). 10 p <http://hydrojournal.ru/item/217-raschet-gidravlicheskogo-udara-pri-rabote-kovochnogo-pressa>.

Статья поступила в редакцию 20.09.2024

Информация об авторах

Бодров Валерий Владимирович, к.т.н., директор по стратегическому развитию ООО «Уральский инжиниринговый центр», Россия, г. Челябинск.
E-mail: vbodrov296@gmail.com

Багаутдинов Рамиль Мерсеитович, генеральный директор ООО «Уральский инжиниринговый центр», Россия, г. Челябинск.
E-mail: бага@cheltec.ru

Гойдо Максим Ефимович, к.т.н., доцент, главный инженер проектов ООО «Уральский инжиниринговый центр», Россия, г. Челябинск.
E-mail: goido@cheltec.ru

Ларин Олег Владимирович, ведущий конструктор ООО «Уральский инжиниринговый центр», Россия, г. Челябинск.
E-mail: larin.ov@mail.ru

Information about the authors

Bodrov Valery Vladimirovich, candidate of Technical Sciences, Director of strategic development LLC “Ural Engineering Center”, Russia, Chelyabinsk.
E-mail: vbodrov296@gmail.com

Bagautdinov Ramil Merseitovich, general Director of LLC “Ural Engineering Center”, Russia, Chelyabinsk.
E-mail: бага@cheltec.ru

Goydo Maxim Efimovich, candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Chief Project Engineer LLC “Ural Engineering Center”, Russia, Chelyabinsk.
E-mail: goido@cheltec.ru

Larin Oleg Vladimirovich, lead constructor LLC “Ural Engineering Center”, Russia, Chelyabinsk
E-mail: larin.ov@mail.ru

Для цитирования:

Бодров В. В., Багаутдинов Р. М., Гойдо М. Е., Ларин О. В. Выбор пневмогидравлических аккумуляторов для электрогидравлической системы управления трехосевого вибростенда // Вестник Луганского государственного университета имени Владимира Даля. – 2024. – № 11(89). – С. 21-29.

For citation:

Bodrov V. V., Bagautdinov R. M., Goydo M. E., Larin O. V. Selection of pneumohydraulic accumulators for electrohydraulic control system of three-axis vibration stand // Vestnik of Lugansk State University named after Vladimir Dahl. – 2024. – № 11(89). – P. 21-29.

УДК 621.822.174; 681.7.054.43

УГРОЗЫ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ГОСУДАРСТВА И ПУТИ ИХ МИНИМИЗАЦИИ

Варнавская Д. С.

THREATS TO ECONOMIC SECURITY OF THE STATE AND WAYS TO MINIMIZE THEM

Varnavskaya D. S.

Аннотация. Данная статья посвящена анализу экономической безопасности как ключевому фактору национальной безопасности. Она содержит характеристику внешних и внутренних угроз экономической безопасности государства. Кроме того, в статье предлагаются пути минимизации экономических угроз в целях обеспечения устойчивого развития и укрепления стран на мировой арене.

Ключевые слова: экономическая безопасность, внешние экономические угрозы, внутренние угрозы, пути минимизации.

Abstract. This article is devoted to the analysis of the economic security as a key factor of national security. It contains a description of external and internal threats to economic security, in addition, the article suggests ways to minimize economic threats in order to ensure sustainable development and strengthen of countries on the world stage.

Key words: economic security, external economic threats, internal threats, ways of minimization.

Введение. Экономическая безопасность представляет собой ключевой аспект национальной безопасности государства. Она является гарантом обеспечения стабильного политико-экономического развития страны, защиты интересов граждан и их социальной защищенности.

Экономическая безопасность – это совокупность экономических, социальных, политических, технических и иных аспектов, которые обуславливают защищенность экономического субъекта (в данном случае государства) от неблагоприятного воздействия факторов как внешней, так и внутренней среды.

Среди таких аспектов можно выделить следующие: финансовая устойчивость и стабильность, обеспеченность ресурсами и продовольствием, энергетический суверенитет и, что наиболее важно на современном этапе становления государства, уровень развития инновационных технологий и внедрения искусственного интеллекта.

Угрозами экономической безопасности любой страны могут выступать как внешние,

так и внутренние факторы, так или иначе оказывающие или способные оказывать негативное воздействие на развитие, а также приводить к проявлениям нежелательных последствий внешнеэкономической деятельности государства [2].

К внешним угрозам экономической безопасности целесообразно относить такие факторы, как:

1. Нестабильность геополитической ситуации

Геополитическая ситуация в мире стремительно и непрерывно меняется, и каждый отдельно взятый субъект, обладающий суверенитетом, вынужден сталкиваться с различными вызовами других государств, стран-партнеров. Кризисные ситуации в ряде регионов мира (таких как Ближний Восток) или напряженность в отношениях между странами Запада создают риски для экономической безопасности соседних стран. Одним из проявлений негативных последствий такой межрегиональной конфронтации являются санкции, регулярно вводимые странами в

отношении геополитических противников, что значительно сократило их доступ к международным финансовым рынкам и технологиям.

2. Непосредственно экономические санкции

Экономические санкции представляют собой одну из наиболее серьезных внешних угроз для российской экономики. Они затрагивают ключевые сектора, такие как энергосбыт, банковский сектор, оборонная промышленность и технологическое развитие. Ограничения на экспорт/импорт технологий и инвестиций негативно сказываются на экономическом росте и инновационном развитии.

3. Конкуренция на мировых рынках

По мере увеличения глобальной конкуренции мировое хозяйство сталкивается с необходимостью адаптироваться к новым условиям. Страны с развивающимися экономиками становятся все более конкурентоспособными на мировом рынке, что может привести к снижению доли ныне развитых государств-лидеров в международной торговле.

Внутренние же угрозы экономической безопасности и стабильности государств требуют непосредственно изменений социально-экономической политики на федеральном, межрегиональном или даже локальном уровнях в зависимости от типа территориального устройства. Источниками таких угроз зачастую выступают:

1. Коррупция

Коррупция остается одной из самых серьезных внутренних угроз экономической безопасности. Она способна подорвать доверие граждан и стран-партнеров к государственным институтам, снижает эффективность использования бюджетных средств и препятствует привлечению иностранных инвестиций. По данным Transparency International, уровень коррупции во многих странах остается высоким, что требует системных мер по его снижению.

2. Неэффективная система управления

Неэффективное управление экономической системой также представляет собой значительную угрозу. Бюрократические препятствия, недостаток прозрачности и низкий уровень ответственности государственных служащих могут привести к неэффективному распределению

государственных ресурсов, а также к снижению качества государственных услуг.

3. Зависимость от сырьевых ресурсов

Экономика государства во многом зависит от экспорта как сырьевых ресурсов, так и готовой продукции и услуг, что делает его уязвимым к колебаниям цен на нефть, газ, сырье для производства экспортируемых товаров. Эта зависимость ограничивает возможности для диверсификации экономики и увеличивает риски в условиях глобальных изменений [3, 5].

В целях минимизации угроз экономической безопасности странам мира уместно предложить такие пути и методы:

1. Укрепление внутренней экономики, что предполагает прежде всего ее диверсификацию.

Одним из ключевых направлений для повышения экономической безопасности каждой отдельной страны является диверсификация экономики. Развитие несырьевых секторов, таких как инновационные технологии, искусственный интеллект и сфера услуг, позволит снизить зависимость от экспорта, например, сырьевых, нефтегазовых ресурсов, и повысить устойчивость к внешним «шоковым» экономическим и политическим ударам.

2. Поддержка малого и среднего бизнеса.

Создание благоприятных условий для развития малого и среднего бизнеса (МСБ) поможет увеличить количество рабочих мест и повысить конкурентоспособность экономики. Государственная поддержка МСБ должна включать упрощение налогового бремени, доступ к кредитам и помощь в выходе на международные рынки.

3. Инвестиции в образование и науку.

Инвестиции в образование и научные исследования являются важным условием для создания инновационных продуктов и технологий. Развитие человеческого капитала позволит государствам стать более конкурентоспособными на международной арене.

4. Борьба с коррупцией.

Для улучшения инвестиционного климата необходимо принять меры по борьбе с коррупцией и повышению прозрачности государственных закупок. Это может включать внедрение современных технологий для мониторинга государственных расходов и создание независимых антикоррупционных органов.

5. Упрощение административных процедур, дебиюрократизация.

Сокращение бюрократических барьеров и упрощение регистрации бизнеса способны сделать страну более привлекательной для инвесторов. Внедрение электронных сервисов для получения разрешений и лицензий может значительно ускорить процессы.

6. Создание специальных экономических зон.

Развитие специальных экономических зон (СЭЗ) может привлечь иностранные инвестиции и способствовать развитию новых технологий. СЭЗ могут стать площадками для тестирования инновационных решений и привлечения высококвалифицированных специалистов.

7. Повышение устойчивости к внешним шокам посредством:

- формирования резервных фондов: создание финансовых резервов позволит стране лучше справляться с экономическими кризисами и колебаниями цен на сырьевые товары. Резервные фонды могут использоваться для поддержки социально уязвимых групп населения в условиях экономического спада;

- развития внутреннего производства: увеличение производства товаров внутри страны поможет снизить зависимость от импорта и повысить устойчивость экономики к внешним шокам. Программы по импортозамещению могут способствовать развитию отечественных производителей;
- диверсификации внешнеэкономических связей: установление торговых отношений с различными странами и регионами снизит риски, связанные с зависимостью от одного или нескольких партнеров. Активное участие в многосторонних торговых соглашениях может способствовать расширению рынков сбыта для товаров, производимых внутри государств.

Угрозы экономической безопасности являются многообразными и многогранными, однако их минимизация возможна при условии комплексного подхода к решению этой проблемы. Диверсификация экономики, борьба с коррупцией, улучшение инвестиционного климата и повышение устойчивости к внешним шокам – ключевые направления, которые помогут каждой стране, являющейся субъектом мирового хозяйства, укрепить свою экономическую безопасность и обеспечить устойчивое развитие в будущем.

Список источников

1. Ахмедзянов Р.Р., Гузеева А.А. Состояние показателей экономической безопасности страны в условиях функционирования ЕАЭС // Научно-практический журнал «Молодежный научный вестник». – 2018. – С. 1-5.

2. Безверхая Е. Н., Губа И. И., Ковалёва К. А. Экономическая безопасность: сущность и факторы // Политематический научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2015. – №108. – С. 21-30.

3. Волков С. П. Особенности обеспечения экономической безопасности – отрасли национальной экономики [Электронный ресурс].- Режим доступа: <http://cfin.ru/bandurin/article/sbm05/04.shtml>. (Дата обращения: 23.12.2024).

4. Глотова И. И., Томилина Е. П. Угрозы экономической безопасности и направления их нейтрализации в системе экономической безопасности предприятия // Экономическая безопасность: правовые, экономические, экологические аспекты: сб. науч. тр. Межд. науч.-практ. конференции. – 2016. – С. 29-33.

5. Киященко Е. А. Социологическая оценка эффективности управления социальными службами [Текст] / Е. А. Киященко, Н. В. Власова // Всероссийская научно-практическая конференция по итогам 2014 г. Материалы всероссийской заочной научно-практической конференции по экономике и гуманитарным наукам. 2014. – С. 86-91.

6. Корнилов М.Я., Юшин И.В. Экономическая безопасность. Учебное пособие. Изд. 3-ое, перераб. и доп. – М.: Проспект, 2019. – 319 с.

7. Черкасская Г.В., Шарыкин Г.Е., Коваленко Н.В. Ретроспектива и современное состояние экономической безопасности // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. – 2015. – №7. – С. 22-27.

8. Экономическая безопасность: проблемы, перспективы, тенденции развития: материалы Междунар. науч.-практ. конф.: в 2 ч. – Пермь, 2016. – Ч. 1. – 454 с.

References

1. Akhmedzyanov R. R., Guzeeva A. A. The state of the country's economic security indicators in the context of the functioning of the EAEU // Scientific and practical journal "Youth Scientific Bulletin". 2018. pp. 1-5.

2. Bezverkhaya E. N., Guba I. I., Kovaleva K. A. Economic security: essence and factors // Political Science Journal of the Kuban State Agrarian University. 2015. No. 108. pp. 21-30.

3. Volkov S. P. Features of ensuring economic security – branches of the national economy [Electronic resource].- Access mode: <http://cfin.ru/bandurin/article/sbm05/04.shtml> . (Date of reference: 12/23/2024).

4. Glotova I. I., Tomilina E. P. Threats to economic security and ways to neutralize them in the economic security system of the enterprise // Economic security: legal, economic, environmental aspects: collection of scientific tr. International scientific and practical conferences. 2016. pp. 29-33.

5. Kiyashenko E. A. Sociological assessment of the effectiveness of social services management [Text] / E. A. Kiyashenko, N. V. Vlasova // All-Russian scientific and practical conference on the results of 2014 Materials of the All-Russian

correspondence scientific and practical conference on economics and humanities. 2014. pp. 86-91.

6. Kornilov M.Ya., Yushin I.V. Economic security. Textbook. 3rd edition, revised. and additional – M.: Prospekt, 2019. – 319 p.

7. Cherkasskaya G. V., Sharykin G. E., Kovalenko N. V. A retrospective and the current state of economic security // Actual problems of the humanities and natural sciences, 2015, No. 7. – Pp. 22-27.

8. Economic security: problems, prospects, development trends: materials of the International Scientific and Practical Conference: at 2 a.m. – Perm, 2016. – Part 1. – 454 p.

Статья поступила в редакцию 20.09.2024

Информация об авторе

Варнавская Дарья Сергеевна, старший преподаватель кафедры электромеханики и транспортных систем Стахановского инженерно-педагогического института (филиала) Луганского государственного университета имени Владимира Даля, г. Стаханов.

E-mail: dvarnavskaya0@rambler.ru

Information about the author

Varnavskaya Darya Sergeevna, Senior lecturer at the of Department Electromechanics and Transport Systems of the Stakhanov Engineering and Pedagogical Institute of the Vladimir Dahl Lugansk State University, Stakhanov.

E-mail: dvarnavskaya0@rambler.ru

Для цитирования:

Варнавская Д. С. Угрозы экономической безопасности России и пути их минимизации // Вестник Луганского государственного университета имени Владимира Даля. – 2024. – № 11(89). – С. 30-33.

For citation:

Varnavskaya D. S. Threats to Russia's economic security and ways to minimize them // Vestnik of Lugansk State University named after Vladimir Dahl. – 2024. – № 11(89). – P. 30-33.

УДК 621.437

НЕКОТОРЫЕ ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА КАСКАДНОГО ОБМЕННИКА ДАВЛЕНИЯ

Брянцев М. А., Данилейченко А. А., Ковтун А. С., Доценко Д. М., Бранспиз М. Ю.

THE SOME MAIN CHARACTERISTICS OF THE CASCADE PRESSURE EXCHANGER WORKING PROCESS

Bryantsev M. A., Danileychenko A. A., Kovtun A. S., Dotsenko D. M., Branspiz M. Yu.

Аннотация. Показано влияние некоторых основных режимных и конструктивных параметров каскадного обменника давления Крайнюка (КОД) на показатели его рабочего процесса. Указан диапазон рационального количества массообменных каналов статора каскадного обменника с точки зрения баланса между степенью расширения горячего рабочего тела и КПД КОД. Представлены зависимости энергетической эффективности каскадного обменника от соотношения давлений рабочих тел в газообменных окнах напорной линии при различной напорности КОД, а также коэффициента вытеснения сжатого воздуха из ячеек ротора. Установлен интервал рациональных значений коэффициента вытеснения с точки зрения максимальной чистоты сжатого рабочего тела, подаваемого в линию потребителей и минимизации «мёртвого» объёма ячеек ротора при приемлемых значениях энергетической эффективности рабочего цикла КОД.

Ключевые слова: каскадный обменник давления, расход сжимающего газа, коэффициент вытеснения, энергетическая эффективность.

Abstract. The influence of some main operating and design parameters of the Kraynyuk's cascade pressure exchanger (CPE) on the indices of its working process is shown. The range of rational number of mass-exchange channels of the cascade exchanger stator is specified from the point of view of balance between the expansion degree of the hot working fluid and the CPE efficiency. The dependences of the energy efficiency of the cascade exchanger on the ratio of the pressures of the working fluids in the gas-exchange windows of the pressure line at different KPE pressures, as well as the coefficient of displacement of compressed air from the rotor cells are presented. The range of rational values of the displacement coefficient is established from the point of view of maximum purity of the compressed working fluid supplied to the consumer line and minimization of the "dead" volume of the rotor cells at acceptable values of the energy efficiency of the CPE working cycle.

Key words: cascade pressure exchanger, compressive gas consumption, displacement coefficient, energy efficiency.

Введение. Снижение себестоимости получения сжатых газов для нужд промышленности и транспорта является актуальной научной задачей. Компримирование газовых сред широко распространёнными поршневыми и лопаточными компрессорами, имеющими достаточно высокие агрегатные показатели эффективности, характеризуются относительно низким общим КПД с учётом многоступенчатого преобразования энергии первичного источника в располагаемую работу

сжатого газа. Так, например, для поршневого компрессора при значениях изотермического КПД 0,65-0,85 [1] и механического 0,8-0,93 [1] с приводом от промышленного трёхфазного асинхронного электродвигателя с КПД 0,8-0,95 [2], общий КПД составит 0,42-0,75 без учёта индуктивных и джоулевых потерь в линиях электропередач. Учитывая КПД брутто выработки электрической энергии на современных тепловых и атомных электростанциях, составляющие 0,39-0,43 [3] и

0,32-0,35 [4], соответственно, нетрудно вычислить энергетическую эффективность получения сжатых газов в поршневых машинах с единицы энергии первичного топлива, равную 16-32% для ТЭС и 13-26% для АЭС, что является весьма низкими показателями. В случае лопаточных компрессоров осевого и центробежного типа с аналогичным электрическим приводом, имеющих адиабатный КПД 0,85-0,95 [1] и 0,8-0,9 [1], соответственно, и примерно одинаковый механический КПД, равный 0,96-0,98 [1], эффективность преобразования энергии первичного топлива в располагаемую работу сжатого газа для осевых машин составит 25-38% при энергоснабжении от ТЭС и 20-31% – от АЭС; для компрессоров центробежного типа – 24-36% для ТЭС и 20-29% для АЭС.

Весьма низкие значения приведенных показателей энергетической эффективности традиционных поршневых и лопаточных компрессорных установок с электрическим приводом обуславливают актуальность поиска альтернативных видов систем сжатия газовых сред. Одним из перспективных направлений развития компрессоростроения является создание установок на базе каскадного обменника давления Крайнюка (КОД) [5].

КОД относится к агрегатам прямого энергообмена в форме работы между горячим сжимающим газом и холодным сжимаемым воздухом. В отличие от волнового обменника давления, также известного как «Comprex», в основу рабочего процесса которого положен принцип волнового взаимодействия горячего и холодного газовых рабочих тел, характеризующийся значениями КПД на уровне 0,45-0,56 [6], рабочий цикл КОД построен на ступенчатом квазистатическом расширении горячего газа, сжимающего при этом холодный воздух посредством попарного переменного подключения ячеек на линии расширения и линии сжатия через массообменные каналы статора [7]. Отсутствие в рабочем цикле газодинамических волн высокой интенсивности способствует реализации каскадным обменником гораздо более высоких значений КПД в сравнении с волновыми обменниками «Comprex». Подтвержденные стендовыми испытаниями опытных образцов КОД значения адиабатного КПД составили 0,78-0,86 [7].

Целью статьи является выявление закономерностей влияния основных режимных

и конструктивных параметров каскадного обменника давления на показатели его рабочего процесса.

Материалы исследования. Влияние разнообразных режимных и геометрических параметров на показатели рабочего цикла каскадного обменника является сложным и во многом неоднозначным. Результаты многолетних численных и натурных экспериментальных исследований рабочего цикла КОД, выполненных на кафедре ДВС ЛГУ им. В. Даля под руководством проф. Крайнюка А.И., опубликованы в многочисленных научных трудах, например, в работах [7, 8, 9]. Основной целью проведенных научных исследований является выявление рациональных значений исследуемых режимных и конструктивных параметров каскадного обменника давления, обеспечивающих заданную производительность и напорность при максимально возможных значениях КПД рабочего цикла.

Важнейшим параметром, оказывающим влияние на эффективность КОД, является количество массообменных каналов статора. С увеличением числа массообменных каналов, определяющих число каскадов сжатия, растет степень использования энергии сжимающего газа. Косвенным показателем, характеризующим степень использования энергии сжимающего газа, может служить уровень давления предварительного сжатия $P_{ПС}$ в ячейке в конечный момент процесса сжатия, представленного на рис. 1.

Как видно из рис. 1 с ростом числа массообменных каналов давление $P_{ПС}$ непрерывно растет, что сопровождается снижением затрат сжимающей среды на досжатие рабочего тела в момент сообщения ячейки ротора к окнам высокого давления и суммарного расхода сжимающей среды в окне ГВД. Последнее сопровождается повышением КПД КОД. Критерием совершенства процесса каскадного массообмена может служить уровень остаточного давления $P_{ОСТ}$ газа в ячейке в момент, предшествующий её подключению к окнам низкого давления, которое отражает долю неиспользованной энергии сжимающего газа. С повышением числа массообменных каналов статора эффективность каскадного расширения сжимающего газа повышается, вместе с тем снижается $P_{ОСТ}$.

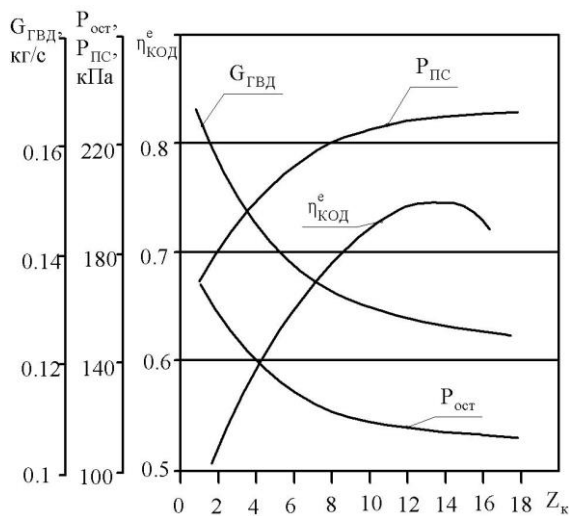


Рис. 1. Зависимость эффективного КПД КОД, остаточного давления $P_{ост}$, давления предварительного сжатия $P_{пс}$ и расхода газов в окне ГВД от количества массообменных каналов статора Z_k

Как видно из рис. 1 зависимость КПД КОД от числа массообменных каналов Z_k не является монотонной; так максимальная эффективность каскадного обменника достигается при $Z_k = 12...14$ единиц. Увеличение количества каналов статора свыше 15 сопровождается заметным снижением энергетической эффективности КОД, что обусловлено необходимостью уменьшения угловых размеров окон высокого и низкого давления и сопровождается снижением производительности и эффективности КОД. При этом ухудшение эффективных показателей работы КОД вызвано, по крайней мере, двумя факторами:

1) Снижением времени, отводимого на продувку ячейки свежим воздухом вследствие уменьшения угловых размеров окон низкого давления.

2) Снижением производительности обменника вследствие уменьшения угловых размеров окон высокого давления.

Интенсификация продувки достигается увеличением напорности продувочного вентилятора, что влечёт возрастание затрат мощности $N_{вент}$ на его привод. Зависимость мощности привода от угловых размеров окон низкого давления $\varphi_{нд}$ по условию сохранения показателей продувки ячеек ротора показана на рис. 2.

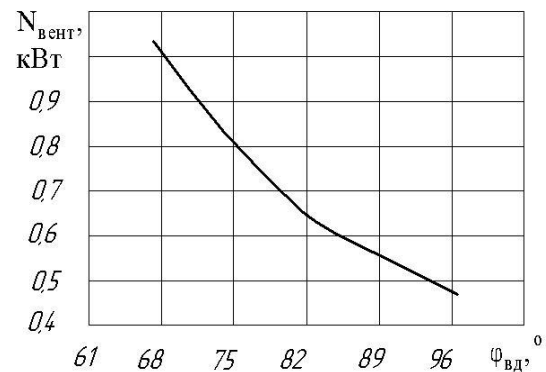
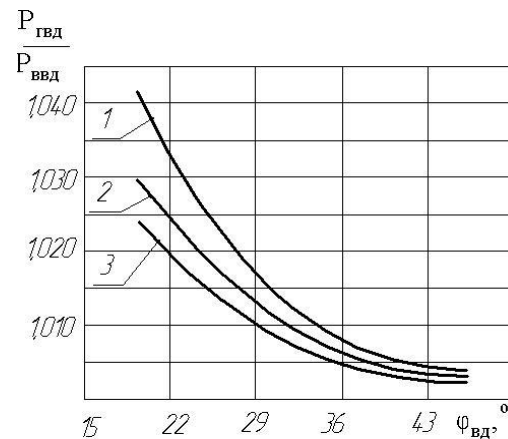


Рис. 2. Влияние угловых размеров окон низкого давления $\varphi_{нд}$ на мощность привода продувочного вентилятора $N_{вент}$

Восстановление производительности КОД достигается увеличением радиального размера окон, что приводит к заметному увеличению фронтальных габаритов обменника, или повышением скорости истечения газов на участке высокого давления за счет снижения давления в окне отвода высокого давления ВВД (рис. 3), при этом снижается КПД КОД.



1 – $P_{ввд} = 250$ кПа; 2 – $P_{ввд} = 290$ кПа;
3 – $P_{ввд} = 340$ кПа

Рис. 3. Зависимость величины отношения давлений сжимаемой и сжимающей сред от угловых размеров окон ГВД и ВВД, при различных давлениях нагнетаемого воздуха $P_{ввд}$

Для оценки влияния указанных факторов обратимся к выражению эффективного КПД КОД:

$$\eta_{КОД}^e = \frac{G_{ВВД} \cdot \frac{k}{k-1} \cdot R \cdot T_{ВВД} \left(\left(\frac{P_{ВВД}}{P_0} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right) - \frac{N_{пр}}{\eta_{пр}}}{G_{ГВД} \cdot \frac{k_z}{k_z-1} \cdot R \cdot T_{ГВД} \left(1 - \left(\frac{P_{ГВД}}{P_0} \right)^{\frac{k_z-1}{k_z}} \right)}, \quad (1)$$

где $G_{ВВД}$, $P_{ВВД}$, $T_{ВВД}$ – расход, давление и температура воздуха отводимого к потребителю; $G_{ГВД}$, $P_{ГВД}$, $T_{ГВД}$ – массовый расход, давление и температура сжимающего газа; $N_{пр}$ – мощность затрачиваемая на привод ротора КОД; $\eta_{пр}$ – КПД условной машины осуществляющей привод ротора КОД.

Из выражения (1) и графиков на рис. 1 и 3 видно, что зависимость эффективного КПД обменника связана с числом массообменных каналов статора, что обуславливает существование области рациональных значений Z_k . Например, для обменника с наружным диаметром ротора $D=200$ мм и внутренним $d=98$ мм, длиной ротора $L=200$ мм, количеством ячеек ротора $Z_c=50$ на режимах с массовой производительностью $G_{ВВД}=0,1-0,3$ кг/с, и давлением сжимаемого воздуха $P_{ВВД}=150-350$ кПа, рациональное значение количества массообменных каналов статора Z_k лежит в пределах 11-15.

Одним из способов увеличения производительности, при сохранении габаритов КОД, является повышение скорости течения воздуха в окне ОВД за счет увеличения перепада давлений в окнах подвода и отвода высокого давления $P_{ГВД}/P_{ВВД}$. Увеличение $P_{ГВД}/P_{ВВД}$ сопровождается уменьшением негативного влияния утечек рабочего тела через торцевые зазоры в сопряжении ротора со статором, что положительно влияет на эффективность работы КОД. Однако, начиная с некоторого момента, дальнейшее повышение $P_{ГВД}/P_{ВВД}$ согласно (1) сопровождается более интенсивным увеличением негативного влияния на КПД что, приводит к его снижению (рис. 4).

Следовательно, с точки зрения максимального КПД существует рациональное значение $P_{ГВД}/P_{ВВД}$, превышение которого наряду с ростом производительности приводит к снижению КПД КОД.

Следует отметить, что с увеличением π_k растет плотность воздушного заряда в ячейке, сообщаемой с окнами высокого давления, что обуславливает более интенсивный рост расхода в окне ОВД.

Из рис. 5 видно, что повышение производительности КОД, при постоянном перепаде давлений в окнах высокого давления может быть достигнуто за счет увеличения площади проходного сечения окон высокого давления.

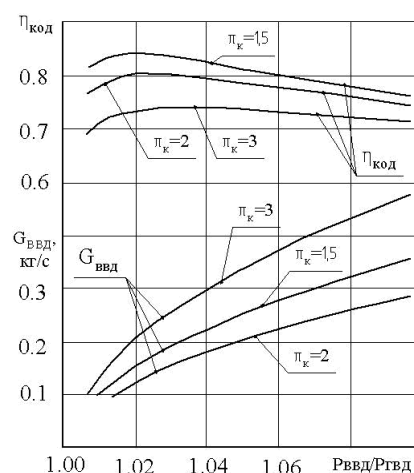


Рис. 4. Влияние отношения $P_{ГВД}/P_{ВВД}$ на КПД КОД и расход воздуха в окне ВВД $G_{ВВД}$, при различных степенях повышения давления

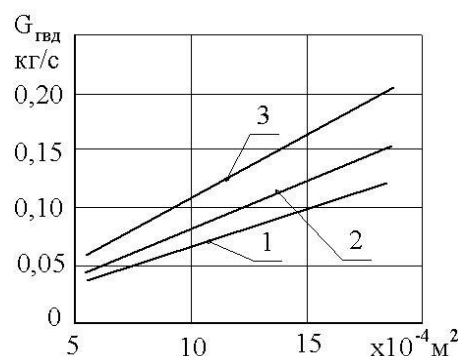


Рис. 5. Зависимость производительности КОД $G_{ВВД}$ от проходного сечения окон высокого давления

Геометрически из условия совмещения окружных кромок окон статора с внутренним и наружным диаметром ротора, площадь $F_{ВВД}$ определяется уравнением:

$$F_{ВВД} = \frac{F_R \cdot \varphi_{ВД}}{360},$$

где $\varphi_{ВД}$ – угол раскрытия окна отвода высокого давления, F_R – площадь проходного сечения ротора, определяемая по формуле

$$F_R = \frac{\pi(D^2 - d^2)}{4} - Z_{я} \cdot \Delta \cdot \frac{D - d}{2},$$

где D и d – соответственно наружный и внутренний диаметр ротора, Δ – толщина перегородки между ячейками ротора, $Z_{я}$ – число ячеек ротора (равное числу перегородок).

Следовательно, изменение диаметров D и d оказывает непосредственное влияние на проходное сечение окон высокого давления, что, как видно из рис. 5, влияет на производительность КОД. Изменение внутреннего и наружного диаметра ротора при сохранении остальных размеров КОД не влияет

на характер течения и давления рабочих сред в окнах и проточных объемах КОД, что обуславливает неизменные эффективные показатели.

Кроме того, увеличение расхода в окне ОВД $G_{ВД}$ обуславливает необходимость в увеличении массовой пропускной способности ротора G_R , определяемой произведением объемной пропускной способности W_R на плотность заряда в окне ПВД $\rho_{ВД}$

$$G_R = W_R \cdot \rho_{ВД},$$

где объемная пропускная способность ротора определяется выражением

$$W_R = \frac{F_R \cdot L_R \cdot n_R}{60}.$$

При неизменных радиальных размерах ротора увеличение расхода $G_{ВД}$ должно сопровождаться пропорциональным ростом частоты вращения n_R или длины ротора L_R .

Несоответствие массовой пропускной способности ротора производительности КОД порождает при $G_{ВД} > G_R$ заброс газов в окно ВВД, в противном случае имеет место появление «мёртвого» объема, оцениваемого неполнотой вытеснения свежего заряда из ячеек ротора, по сути, определяющей эффективность использования объема каждой ячейки.

Численно неполнота вытеснения характеризуется коэффициентом вытеснения $\psi_{ВД}$, равным отношению массового расхода через окно ОВД к массовой пропускной способности ротора.

При $\psi_{ВД} > 1$ в окно ОВД будет осуществляться заброс сжимающего газа, что в ряде случаев является неприемлемым. При $\psi_{ВД} < 1$ наоборот растет доля неиспользованного свежего заряда, находящегося в ячейке и уже сжатого в процессе каскадного массообмена (возрастание «мертвого» объема ячейки).

Следует отметить, что неполнота вытеснения сжатого воздуха к потребителю на линии высокого давления не оказывает значительного влияния на эффективные показатели каскадного обменника давления. Последнее объясняется участием энергии сжатого воздуха, оставшегося в ячейке после разобщения с окном ОВД, в процессе каскадного массообмена и, следовательно, непосредственным расходом на последующее сжатие свежего заряда в ячейке наряду с энергией сжимающего газа.

Также следует иметь в виду наличие в ячейке зоны перемешивания активной и пассивной рабочих сред, что делает невозможным полное вытеснение воздуха из ячеек ротора в окно ОВД, исключая при этом заброс сжимающего газа. Таким образом, очевидна целесообразность поиска рационального значения $\psi_{ВД}$.

Влияние $\psi_{ВД}$ на показатели работы КОД наиболее ярко проявляется через насыщение воздуха горячими газами (т.е. концентрацию горячих газов в сжатом воздухе).

Косвенным показателем разбавления сжимаемого воздуха горячими газами является температура рабочего тела в окне ВВД $T_{ВД}$, зависимость которой от коэффициента вытеснения представлена на рис. 6 при различных температурах активной среды.

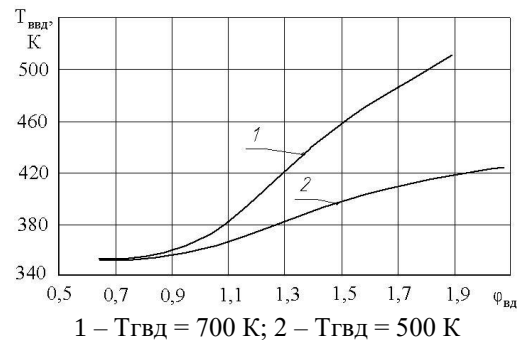


Рис. 6. Влияние коэффициента вытеснения на температуру рабочего тела в окне ВВД

Более наглядно разбавление сжатого воздуха горячими газами иллюстрируют графики температуры $T_{я ВВД}$ рабочего тела в граничащем с окном ВВД расчетном слое в момент разобщения ячейки с окном ОВД, представленные на рис. 7.

Как видно из рис. 7, при $\psi_{ВД} = 1$ температура $T_{я ВВД}$ составляет 480 К (кривая 1), превышая значение $T_{я ВВД}$ при $\psi_{ВД} = 0,75$ (близкое к номинальному режиму КОД) на 105 К (т.е. на 28%), что свидетельствует о значительном содержании горячих газов. Начиная с $\psi_{ВД} = 1,3$ дальнейший рост $T_{я ВВД}$ замедляется, приближаясь по значениям к $T_{ГВД}$, что говорит о вытеснении из ячеек в окно ОВД исключительно сжимающего газа.

Эффективность работы КОД зависит от коэффициента вытеснения в первую очередь через изменение плотности вытесняемого из ячеек рабочего тела. Графики КПД КОД в функции $\psi_{ВД}$ представлены на рис. 8.

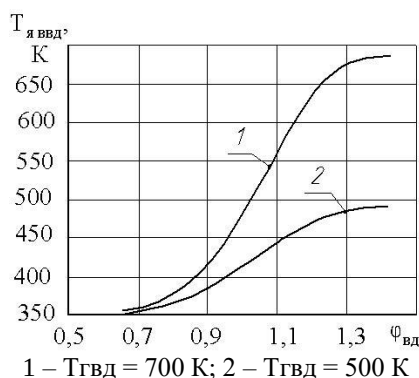


Рис. 7. Температура в граничном сечении ячейки в момент разобшиения её с окном ГВД

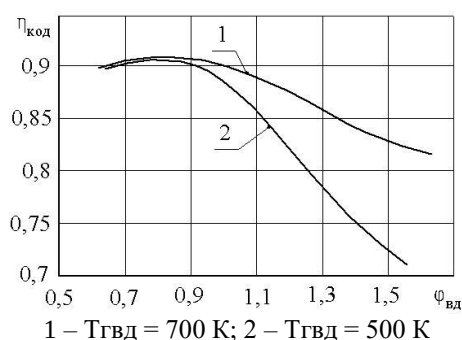


Рис. 8. Зависимость адиабатного КПД КОД от коэффициента вытеснения

Результатом проведенных расчетных исследований являются рекомендации обеспечения в рабочем цикле КОД коэффициента вытеснения $\psi_{вд} < 1$, что гарантирует высокое качество чистоты сжимаемого воздуха. Варьирование величины $\psi_{вд}$ в диапазоне 0,7...0,9 обеспечивает достижение максимально возможных значений адиабатного КПД каскадного обменника, составляющего 0,89...0,92, что предопределяет возможность создания на базе КОД высокоэффективных компрессорных установок, обеспечивающих энергетическую эффективность получения сжатого воздуха или иных технологических сжатых газов на уровне не ниже традиционных компрессоров объемного и динамического типа с электрическим приводом.

Выводы. 1. Установленный диапазон рациональных значений количества массообменных каналов статора каскадного обменника составляет 11-15 единиц.

2. Увеличение отношения давлений в газообменных окнах напорной линии КОД $P_{гвд}/P_{ввд}$ сопровождается ростом производительности и уменьшением негативного влияния утечек рабочего тела через торцевые зазоры в сопряжении ротора и

статора, что положительно влияет на эффективность рабочего цикла обменника.

3. Повышение производительности КОД, при постоянном перепаде давлений в окнах высокого давления, может быть достигнуто за счет увеличения проходного сечения последних. Диаметральные размеры D и d оказывает непосредственное влияние на проходное сечение окон высокого давления и, в конечном счёте, на производительность КОД.

4. Несоответствие массовой пропускной способности ротора производительности КОД влечёт заброс газов в окно ВВД при коэффициенте вытеснения превышающем единицу, в противном случае можно констатировать появление «мёртвого» объёма, оцениваемого неполнотой вытеснения свежего заряда из ячеек ротора.

5. Эффективность работы КОД зависит от коэффициента вытеснения, что прежде всего проявляется через изменение плотности вытесняемого из ячеек рабочего тела. Наиболее рациональным, с точки зрения чистоты сжатого воздуха, является организация рабочего процесса КОД при значениях коэффициента вытеснения в диапазоне 0,7-0,9, при которых КПД энергомассообмена достигает значений 0,89...0,92.

Список источников

1. Черкасский В.М. Насосы, вентиляторы, компрессоры : учебник для вузов / В.М. Черкасский. – 2-е изд. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 414 с.
2. Касаткин А.С. Электротехника: Учеб. для вузов / А.С.Касаткин, М. В. Немцов. – 9-е изд., стер. – М.: Издательский центр «Академия», 2005 – 544 с.
3. Стерман Л.С. Тепловые и атомные электрические станции: учебник для вузов / Л.С. Стерман, В.М. Лавыгин, С.Г. Тишин. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Издательский дом МЭИ, 2008. – 464 с.
4. Щеклеин С.Е. Повышение энергоэффективности АЭС / С.Е. Щеклеин, О.Л. Ташлыков, А.М. Дубинин / Известия высших учебных заведений. Ядерная энергетика – 2015. – № 4. – С. 15-25.
5. Патент UA №77261, МПК6 F 02 В 33/42, Каскадный обменник давления / Крайнюк А.И. Крайнюк А.А. Заявка 20040806986, Дата подачи 21.08.2004, опубл. 15.11.2006 Бюл. № 11.
6. Крайнюк А.И. Системы газодинамического наддува: монография / А.И. Крайнюк, Ю.В. Сторчеус. – Луганск: ВУГУ, 2000. – 224 с.
7. Крайнюк А.И. Исследования физической сущности процессов трансформации энергии на принципах каскадно-теплового сжатия: монография / А. И. Крайнюк, Ю. В. Сторчеус; [отв. ред. Ю. В.

Сторчеус]. – Луганск : изд-во «Нолудж», 2012. – 118 с.

8. Крайнюк А.И. Результаты испытаний системы наддува каскадного обмена давления с глубоким охлаждением наддувочного воздуха / А.И. Крайнюк, С.В. Алексеев, А.С. Ковтун // Авиационно-космическая техника и технология. – Харьков, изд. Нац. Аэрокосмич. Ун-та им. Н.Е. Жуковского «ХАИ». – 2011. – № 10 (87). – С. 168-172.

9. Крайнюк А.И. Расчет и выбор основных параметров каскадного обменника давления / А.И.Крайнюк, А.А.Крайнюк, С.В.Алексеев, М.А.Брянцев // Двигатели внутреннего сгорания. – 2007. – №1. – С. 57-62.

References

1. Cherkasskij V.M. Nasosy, ventilyatory, kompressory : uchebnik dlya vtuzov / V.M. Cherkasskij. – 2-e izd. – M.: Energoatomizdat, 1984. – 414 s.

2. Kasatkin A.S. Elektrotehnika: Ucheb. dlya vuzov / A.S.Kasatkin, M. B. Hemcov. – 9-e izd., ster. – M.: Izdatel'skij centr «Akademiya», 2005 – 544 s.

3. Sterman L.S. Teplovye i atomnye elektricheskie stancii: uchebnik dlya vuzov / L.S. Sterman, V.M. Lavygin, S.G. Tishin. – 4-e izd., pererab. i dop. – M.: Izdatel'skij dom MEI, 2008. – 464 s.

4. Shcheklein S.E. Povyshenie energoeffektivnosti AES / S.E. Shcheklein, O.L. Tashlykov, A.M. Dubinin /

Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Yader-naya energetika – 2015. – № 4. – S.15-25.

5. Patent UA №77261, MPK6 F 02 B 33/42, Kaskadnyj obmennik davleniya / Krajnyuk A.I. Krajnyuk A.A. Zayavka 20040806986, Data podachi 21.08.2004, opubl. 15.11.2006 Byul. № 11.

6. Krajnyuk A.I. Sistemy gazodinamicheskogo nadduva: monografiya / A.I. Krajnyuk, Yu.V. Storcheus. - Lugansk: VUGU, 2000. – 224 s.

7. Krajnyuk A.I. Issledovaniya fizicheskoy sushchnosti processov transformacii energii na principah kaskadno-teplovogo szhatiya: monografiya / A.I. Krajnyuk, Yu. V. Storcheus ; [otv. red. Yu. V. Storcheus]. – Lugansk : izd-vo «Noulidzh», 2012. – 118 s.

8. Krajnyuk A.I. Rezul'taty ispytaniy sistemy nadduva kaskadnogo ob-mena davleniya s glubokim ohlazhdeniem nadduvochnogo vozduha / A.I. Krajnyuk, S.V. Alekseev, A.S. Kovtun // Aviacionno-kosmicheskaya tekhnika i tekhnologiya. – Har'kov, izd. Nac. Aerokosmich. Un-ta im. N.E. Zhukovskogo «HAI». – 2011. – № 10 (87). – S. 168-172.

9. Krajnyuk A.I. Raschet i vybor osnovnyh parametrov kaskadnogo ob-mennika davleniya / A.I.Krajnyuk, A.A.Krajnyuk, S.V.Alekseev, M.A.Bryancev // Dvigateli vnutrennego sgoraniya. – 2007. – №1. – S. 57-62.

Статья поступила в редакцию 25.09.2024

Информация об авторах

Брянцев Максим Анатольевич, старший преподаватель кафедры «Двигатели внутреннего сгорания» Луганского государственного университета имени Владимира Даля, г. Луганск.
E-mail: 280376@rambler.ru

Данилейченко Александр Анатольевич, к-т. техн. н., доц., заведующий кафедрой «Двигатели внутреннего сгорания» Луганского государственного университета имени Владимира Даля, г. Луганск.
E-mail: 280376@rambler.ru

Ковтун Александр Сергеевич, старший преподаватель кафедры «Двигатели внутреннего сгорания» Луганского государственного университета имени Владимира Даля, г. Луганск.
E-mail: revearon@mail.ru

Доценко Данил Михайлович, старший преподаватель кафедры «Двигатели внутреннего сгорания» Луганского государственного университета имени Владимира Даля, г. Луганск.
E-mail: 280376@rambler.ru

Бранспиз Мария Юрьевна, к-т. техн. н., доц., доцент кафедры «Прикладная математика» Луганского государственного университета имени Владимира Даля, г. Луганск.
E-mail: mariya_branspiz@mail.ru

Information about the authors

Bryantsev Maksim Anatolievich, senior lecturer of the «Internal combustion engines» Department of the Lugansk State University named after Vladimir Dahl.
E-mail: 280376@rambler.ru

Danileychenko Alexander Anatolievich, candidate of technical sciences, associate professor, head of «Internal combustion engines» of the Lugansk State University named after Vladimir Dahl.
E-mail: 280376@rambler.ru

Kovtun Alexander Sergeevich, senior lecturer of the «Internal combustion engines» of the Lugansk State University named after Vladimir Dahl.
E-mail: revearon@mail.ru

Dotsenko Danil Mikhailovich, senior lecturer of the «Internal combustion engines» of the Lugansk State University named after Vladimir Dahl.
E-mail: 280376@rambler.ru

Branspiz Mariya Yurievna, candidate of technical sciences, associate professor of applied mathematics department of the Lugansk State University named after Vladimir Dahl.
E-mail: mariya_branspiz@mail.ru

Для цитирования:

Брянцев М.А., Данилейченко А.А., Ковтун А.С., Доценко Д.М., Бранспиз М.Ю. Некоторые основные характеристики рабочего процесса каскадного обменника давления // Вестник Луганского государственного университета имени Владимира Даля. – 2024. – № 11(89).– С. 34-41.

For citations:

Bryantsev M.A., Danileychenko A.A., Kovtun A.S., Dotsenko D.M., Branspiz M.Yu. Некоторые основные характеристики рабочего процесса каскадного обменника давления (The some main characteristics of the cascade pressure exchanger working process) // Vestnik of Lugansk State University named after Vladimir Dahl. – 2024. –№ 11(89).– P. 34-41.

УДК 378.147

**ОБ АКТУАЛЬНЫХ ВОПРОСАХ ЦИФРОВИЗАЦИИ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ
ОРГАНИЗАЦИЯХ СРЕДНЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ****Димитриев А. С.****ON CURRENT ISSUES OF DIGITALIZATION IN EDUCATIONAL INSTITUTIONS
OF SECONDARY VOCATIONAL EDUCATION****Dimitriev A. S.**

Аннотация. В настоящее время процессы цифровизации являются приоритетным направлением государственной политики в сфере образования. В статье проанализированы теория и практика цифровизации образовательного процесса после вынужденного повсеместного дистанционного обучения, который можно назвать естественным экспериментом, проведенным по выявлению готовности к цифровому образованию.

Данные социологического опроса об отношении к дистанционному обучению студентов, педагогов, родителей в разных городах и регионах страны, проведенные автором статьи исследования позволили выделить основную проблему – отставание научно-педагогической поддержки «цифровой дидактики». Проведен анализ трактовки понятий «цифровое образование», «цифровая образовательная среда». Определены группы цифровых компетенций для современного человека и специалиста, эти компетенции в полной мере относятся и к профессии преподавателя. Предложена разработка эффективных психолого-педагогических методов и технологий цифровизации обучения, создающих условия для проектирования участниками образовательного процесса лично развивающей образовательной среды актуализации содержания обучения. В рамках интеграции традиционного и гуманистического (лично ориентированного) подходов к обучению, воспитанию и развитию личности предложено ситуационно-средовое проектирование лично развивающей цифровой среды, представляющей совокупность значимых для развития личности факторов образования.

Ключевые слова: цифровизация, цифровизация образования, цифровая образовательная среда, цифровые навыки, лично развивающий подход, ситуационно-средовой подход.

Abstract. Currently, digitalization processes are a priority area of state policy in the field of education. The article analyzes the theory and practice of digitalization of the educational process after the forced widespread distance learning, which can be called a natural experiment conducted to identify readiness for digital education.

The data of a sociological survey on the attitude to distance learning of students, teachers, and parents in different cities and regions of the country, conducted by the author of the article, allowed us to identify the main problem – the lag in scientific and pedagogical support for "digital didactics". The analysis of the interpretation of the concepts of "digital education", "digital educational environment" is carried out. Groups of digital competencies have been identified for a modern person and a specialist, these competencies fully relate to the teaching profession. The development of effective psychological and pedagogical methods and technologies of digitalization of learning is proposed, creating conditions for the design by participants of the educational process of a personally developing educational environment for updating the content of learning. As part of the integration of traditional and humanistic (personality-oriented) approaches to learning, upbringing and personal development, situational and environmental design of a personality-developing digital environment is proposed, representing a set of educational factors significant for personal development.

Key words: digitalization, digitalization of education, digital educational environment, digital skills, personal development approach, situational and environmental approach.

Введение. Вопросы цифровой трансформации экономической и социальной сферы являются актуальными для всех развитых стран. Несмотря на то, что процессы цифровизации в РФ начались сравнительно недавно, в настоящее время они являются приоритетным направлением государственной политики в сфере образования. Цифровизация образования будущего специалиста выступает главным фактором обеспечения цифровизации современной экономики и бизнеса.

Ключевым ресурсом развития цифровизации становятся квалифицированные кадры, которые невозможно подготовить без трансформации образования, создания цифровой образовательной среды. ЮНЕСКО в своем докладе «Цифровые навыки для жизни и работы – 2022» определила следующие группы цифровых компетенций для современного человека и специалиста:

- базовые функциональные навыки для повседневной деятельности пользователя в интернете (поиск информации, создание и поддержание аккаунта в социальных сетях, выбор и использование настроек программного обеспечения, сервисов и устройств);

- стандартные цифровые навыки для эффективного использования ИКТ в профессиональной и социальной деятельности (создание и использование цифрового контента, работа с онлайн-приложениями и онлайн-услугами, умение работать с информацией);

- специализированные цифровые навыки для профессиональной деятельности в сфере ИКТ (программирование, администрирование сетей, анализ данных), а также сопутствующие им социальные компетенции и личностные качества (креативность, критическое мышление, коммуникация).

За последние десятилетия вышел ряд правительственных постановлений, обращающих внимание на необходимость создания новой национальной системы образования и ориентирующих на масштабную цифровизацию образования.

Современное цифровое общество породило новую образовательную реальность, для которой характерны вовлечение в образовательный процесс новых субъектов, качественно иная конструкция содержания образования и формы его предъявления, возрастание удельного веса компонента «самоорганизация» в учебной деятельности,

более высокий уровень индивидуализации и возможностей самореализации, актуализация субъектно-личностных ресурсов студентов.

Сегодня в научно-педагогической литературе отсутствует единое понимание термина «цифровое образование»: одни считают, что это цифровые ресурсы; другие – компьютерные информационные технологии; для третьих – это среда жизни и деятельности, открывающая возможности обучения в любое удобное время; для четвертых – это процесс интеграции традиционного обучения, основой которого является классно-урочная система, с применением информационных технологий, требующих новых дидактических подходов в выборе целей, содержания, методов и средств обучения.

По мнению И.В. Гайдамашко, И.Р. Семчук, цифровизация образования – это организация работы студентов и преподавателей в среде цифровых технологий, включая использование навыков по поиску и обмену информацией, налаживанию общения с другими людьми, реализация умений формировать собственные образовательные технологии [5, с.29-38].

Средовой подход к цифровому образованию требует рассмотрения понятия «среда» в соотношении с понятием «личность». Эти два понятия взаимосвязаны, в то же время личность выделена из среды, она в какой-то степени овладевает средой и преобразует ее. В своем исследовании ученые опираются на личностно-развивающий, средовой подходы, которые всесторонне анализировались применительно к профессиональному и профессионально-педагогическому образованию членами-корреспондентами РАО Э. Ф. Зеером, В. В. Сериковым, доктором наук Ходяковой Н. В. и др. [7, с.153-184].

Личностно-развивающий, ситуационно-средовой методологические подходы позволяют определить цифровое образование как создание цифровой образовательной среды, представляющей совокупность значимых для развития личности факторов: внешних стимулов ее познавательной активности, содержательных источников формирования индивидуальной картины мира и личностного опыта; процессуальных возможностей учебной деятельности и коммуникации с учетом способов и имеющихся средств. Образовательная среда – это объективная реальность, которая субъективно воспринимается, переживается, оценивается,

избирается и трансформируется каждым студентом, это одновременно и содержание, и средство образования и развития личности. Способом проектирования образовательной среды является личностно развивающая образовательная ситуация как фактор взаимодействия педагога и обучающихся со средой и представляет собой инструмент их личностного со- развития в образовательном процессе. А цикл ситуаций обеспечивает поэтапное поступательное развитие личностной позиции каждого из них [2].

Орлов А.А. ситуацию развития личности называет «клеточкой», наименьшей составной частью процесса личностно развивающего образования, в котором представлено «содержание личностного развития и методы, способы поддержки педагогом присвоения данного содержания (личностного опыта) воспитанником». Личностный опыт – это опыт быть личностью, т.е. опыт выполнения личностью ее функций, определенных природой и назначением человека с учетом развития культуры и цивилизации [12, с.5-16]. Это главная цель современного образования, а цифровизация педагогического процесса, которую мы сегодня воспринимаем как данность, как инновационную деятельность, как содержание и средство развития личности, способствует интенсификации образовательного процесса в создании цифровой личностно-развивающей среды, которая при определенных условиях может влиять на качество образовательного процесса и его результатов.

Стихийно складывающаяся цифровая образовательная среда не позволяет в полной мере реализовать личностно-развивающий потенциал педагогических ситуаций, она спонтанно влияет на учащихся, т.к. в ней не учитываются научно обоснованные принципы и способы актуализации педагогических возможностей развития мотивационно-потребностной сферы студентов, их психофизиологических индивидуальных особенностей и способностей, творчески преобразующего характера деятельности, а также специфика самой обсуждаемой среды. Многие считают, что личностно развивающую ситуацию педагогу необходимо специально создавать. С точки зрения ситуационно-средового подхода, педагог заранее не может спланировать и создать личностно развивающую ситуацию для студентов и

непосредственно управлять ею, а участвует в совместном с ними ее проектировании в соответствии с собственной профессионально-личностной позицией и закономерностями становления личностной сферы человека. Для успешной социализации молодого человека, прежде всего, важна образовательная среда психологической поддержки развития морально-нравственных качеств личности, а не технологическая, т.к. современное поколение с рождения уже живет и формируется в тотально технологизированном мире [6].

В то же время А.А. Орлов отмечает, что постоянная оцифровка персональных данных, индивидуальных потребностей, деятельности, отношений, биографии, личностных особенностей и привычек людей позволяет говорить о влиянии цифровизации на расширение, изменение, дополнение и совершенствование высших психических функций человека. Так, М.М. Ковалев, Г.Г. Головенчик выделяют следующие качества современного «цифрового человека»: стремление к быстрому успеху, в то время как преодоление жизненных трудностей и упорный труд – не для него, ему важно жить сегодняшним днем, глобальные перспективы его интересуют мало, он не признает авторитетов, болезненно воспринимает критику, фиксирует внимание на информации не более 5-8 секунд [9, с. 327].

Процесс становления «цифрового общества», новое информационно-коммуникационное пространство изменяет человека, мировосприятие и понимание своего места в мире. Очевидно, что в этих условиях существенно снижается значимость социальных ценностей, а возрастает значимость ценностей индивидуального порядка – «Свобода», «Независимость», «Творчество», «Самореализация» [8, с.5-14].

В современных условиях особую актуальность и важность приобретает подход выдающегося русского педагога К.Д. Ушинского к решению проблем воспитания и развития личности, выраженный следующим образом: «...если педагогика хочет воспитывать человека во всех отношениях, то она, прежде всего, должна узнать его тоже во всех отношениях». Этот подход можно реализовать при целостном, всестороннем изучении личности. Приведенные примеры свидетельствуют о том, что важные для дидактики личностные качества студентов

сильно изменились. Актуальной становится задача развития дидактики с учетом процессов цифровизации образования, а не создание «цифровой дидактики». Ученые считают, что использовать термин «цифровая дидактика» некорректно, так как дидактическая система включает цели, принципы, содержание обучения, а цифровые технологии являются в основном средством обучения, «железом».

Нельзя не согласиться с учеными, которые считают, что цифровые средства коммуникации – благо для тех, у кого есть образовательная база, сформирована сознательная сфера, связанная с самообразованием и самореализацией, но для детей они губительны, не приучают трудиться, так как акцент больше делается на удовольствие [13, с.65-75].

Цифровая образовательная среда (ЦОС) – это не единая онлайн-площадка, а набор технических решений. Сейчас эти решения в стадии формирования. По замыслу Минпросвещения, в ЦОС войдут библиотека верифицированного учебного контента, платформа с учебными заданиями, соцсеть и система видео-конференц-связи. В этой связи министр просвещения Сергей Кравцов подчеркивает, что цифровые инструменты не будут полной заменой традиционной образовательной организации, цифровая образовательная среда (ЦОС) – это помощь, усиление традиционной системы образования. Так, отечественная система видео-конференц-связи «Сферум» уже успешно апробирована. Она нужна для того, чтобы педагоги и обучающиеся могли общаться друг с другом, в том числе из разных регионов, а родители могли бы посещать родительские собрания онлайн, если очно не могут присутствовать. Второй важный компонент ЦОС – это социальная сеть. Третий – это электронные верифицированные учебные материалы в помощь педагогу, проверенные экспертами, соответствующие школьным стандартам. Преподаватель может их использовать, чтобы сделать очный урок интереснее. Часть этих инструментов будет работать на базе соцсети в «Контакте». Пока же они или находятся в разработке или проходят тестирование.

Проверка готовности субъектов образовательного процесса к цифровизации образования, анализ данных социологического опроса об отношении к дистанционному обучению студентов, педагогов, родителей выявили не только противоречия и проблемы

(которые были прогнозируемы), но и те аспекты, учет которых необходим для дальнейшего определения содержательных, процессуальных компонентов создания эффективной цифровой образовательной среды [11, с.19-20].

Основными причинами были названы: дефицит цифровой грамотности, методического обеспечения в формате цифровой дидактики. При этом около 65% педагогов, родителей указывают на недостаточную техническую обеспеченность перехода к цифровому обучению в удаленной форме. Согласно опросу 3,5 тысяч педагогических работников, проведенному аналитиками образовательного сервиса «Учи.ру» в марте-апреле 2023 года, 87% педагогов считают, что с переходом на дистанционное обучение их нагрузка возросла: у половины опрошенных рабочий день увеличился на 1-3 часа. Более половины респондентов полагают, что переход к цифровым формам обучения лучше подготовит детей к реалиям современной жизни. Вместе с тем, более половины отмечают нарушение санитарно-гигиенических требований к работе за компьютером, ухудшение сна, зрения, работоспособности детей. Большая часть выделила несовершенство системы диагностики качества результатов обучения. Проблема разработки диагностического инструментария вызвала затруднения у практиков и при традиционной форме обучения. Практический и теоретический опыт освоения цифрового образования, создания цифровой личностно ориентированной образовательной среды является условием для приобретения компетенций, позволяющих разрабатывать критерии и показатели прогнозируемых результатов освоения возможностей обучения с использованием интернет- технологий, а также результаты, достигнутые обучающимися. Комплексные диагностические средства должны выявлять способность применять полученные компетенции в нестандартной ситуации, на практике.

Выводы. В целом можно сделать вывод, что современная образовательная организация готова к переходу на цифровые формы обучения не более чем наполовину. Главные причины заключаются в недостаточной цифровой грамотности, отсутствии методического обеспечения цифровой дидактики, технических медиа средств,

психолого-педагогической поддержки социализации личности обучающихся. Следовательно, необходимы разработка и внедрение эффективных психолого-педагогических методов и технологий цифровизации обучения, создающих условия для проектирования участниками образовательного процесса личностно развивающей образовательной среды актуализации содержания обучения. При создании этих условий важно понимание того, что главная цель воспитания – человек, и все происходящие новации в социальной сфере, экономике – для человека, так как предназначение человека – быть счастливым, опираясь на свой личностный опыт и компетентность.

Список источников

1. Айдарова Г. П. Принципы проектирования вариативного этнокультурного компонента содержания образования: постановка задачи и гипотеза исследования // Известия Южного Федерального университета. 2021. № 11. с. 39.
2. Айдарова Г. П., Полякова А. Л. Некоторые итоги дистанционного обучения в условиях вынужденного удаленного обучения // Проблемы и перспективы дистанционного обучения. Элиста, 2021.
3. Болотов В. А. и др. Педагогическое образование в контексте вызовов и проблем XXI века: актуальность трансформации // Педагогическое образование в современной России: стратегические ориентиры развития. Ростов-на-Дону, 2020. С. 23-42.
4. Бордовская Н. В., Кошкина Е. А., Бочкина Е. А. Образовательные технологии в современной высшей школе (анализ отечественных и зарубежных исследований и практик) // Наука и образование. 2020. Т. 22. № 6. С. 137- 174.
5. Гайдамашко И. В., Кроть В. М., Семчук И.В. Психофизиологические обоснования соответствия обучения когнитивной структуре знаний // Педагогика. 2020. № 2. С. 29-38.
6. Доклад «Цифровые навыки для жизни и работы» совместной комиссии Юнеско МСЭ. URL: http://d-russia.ru/wp-content/uploads/2024/10/Digital-skills-for-life-and-work_259013e.pdf
7. Зеер Ф., Церковникова Н.Г., Третьякова В.С. Цифровое поколение в контексте прогнозирования профессионального будущего // Психологические исследования. 2021. № 6. С. 153-184.

8. Иванова С.В., Иванов О.Б. Трансформация образовательного пространства в стремительно меняющемся мире // Педагогика. 2022. № 7. С. 5-14.
9. Ковалев М.М., Головенчик Г.Г. Цифровая экономика – шанс для Беларуси. Минск, 2018. 327 с.
10. Налетова Н.Ю. Цифровое образование: «за» и «против», текущие и имманентные проблемы // Педагогика. 2020. № 1. С. 43-46.
11. Никитина Н.Н., Кислинская Н.В. Введение в педагогическую деятельность. М.: Академия, 2018. С. 19-20.
12. Орлов А.А. Портрет «сетевой личности» в контексте теории поколений // Педагогика. 2019. № 10. С. 5-16.
13. Панов В.И. и др. Некоторые итоги цифровизации образования на примере вынужденного удаленного школьного обучения // Педагогика. 2020. № 9. С. 65-75.
14. Подуфалов Н.Д. Научное наследие К.Д. Ушинского и проблемы современной дидактики // Педагогика. 2023. № 4. С. 5-16.

References

1. Aidarova G.P. Principles of designing a variable ethnocultural component of the educational content: problem statement and research hypothesis // Proceedings of the Southern Federal University. 2021. No. 11. p. 39.
2. Aidarova G. P., Polyakova A. L. Some results of distance learning in conditions of forced distance learning // Problems and prospects of distance learning. Elista, 2021.
3. Bolotov V. A. et al. Pedagogical education in the context of the challenges and problems of the XXI century: the relevance of transformation // Pedagogical education in modern Russia: strategic development guidelines. Rostov-on-Don, 2020. pp. 23-42.
4. Bordovskaya N. V., Koshkina E. A., Bochkina E. A. Educational technologies in modern higher education (analysis of domestic and foreign studies and practices) // Science and education. 2020. vol. 22. No. 6. pp. 137- 174.
5. Gaidamashko I.V., Krol V.M., Semchuk I.V. Psychophysiological substantiation of the correspondence of learning to the cognitive structure of knowledge // Pedagogy. 2020. No. 2. pp. 29-38.
6. Report "Digital skills for life and work" by the UNESCO ITU Joint Commission. URL: http://d-russia.ru/wp-content/uploads/2024/10/Digital-skills-for-life-and-work_259013e.pdf
7. Zeer F., Tserkovnikova N.G., Tretyakova V.S. Digital generation in the context of forecasting the professional future // Psychological research. 2021. No. 6. pp. 153-184.

8. Ivanova S.V., Ivanov O.B. Transformation of the educational space in a rapidly changing world // Pedagogy. 2022. No. 7. pp. 5-14.

9. Kovalev M.M., Golovenchik G.G. The digital economy is a chance for Belarus. Minsk, 2018. 327 p.

10. Naletova N.Yu. Digital education: pros and cons, current and inherent problems // Pedagogy. 2020. No. 1. pp. 43-46.

11. Nikitina N.N., Kislinskaya N.V. Introduction to pedagogical activity. Moscow: Academy, 2018. pp. 19-20.

12. Orlov A.A. Portrait of a "network personality" in the context of the theory of generations // Pedagogy. 2019. No. 10. pp. 5-16.

13. Panov V.I. et al. Some results of digitalization of education on the example of forced remote schooling // Pedagogy. 2020. No. 9. pp. 65-75.

14. Podufalov N.D. The scientific heritage of K.D. Ushinsky and the problems of modern didactics // Pedagogy. 2023. No. 4. pp. 5-16.

Статья поступила в редакцию 24.09.2024

Информация об авторе

Димитриев Андрей Степанович, кандидат педагогических наук, доцент, директор ГБОУ СПО ЛНР «Луганский технологический колледж».

<https://orcid.org/0009-0000-6100-2892/print>

E-mail: lpeldo@mail.ru

Information about the author

Dimitriev Andrey Stepanovich, candidate of pedagogical sciences, associate professor, director of the State Budgetary Educational Institution of Secondary Professional Education of the LPR "Lugansk Technological College".

<https://orcid.org/0009-0009-4217-1178/print>

E-mail: lpeldo@mail.ru

Для цитирования:

Димитриев А. С. Об актуальных вопросах цифровизации в образовательных организациях среднего профессионального образования // Вестник Луганского государственного университета имени Владимира Даля. – 2024. – № 11(89). – С. 42-47.

For citation:

Dimitriev A. S. On current issues of digitalization in educational institutions of secondary vocational education // Vestnik of Lugansk State University named after Vladimir Dahl. – 2024. – № 11 (89). – P. 42-47.

УДК 377.1

ДУХОВНО-ПРАВСТВЕННОЕ ВОСПИТАНИЕ СТУДЕНТОВ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ СРЕДНЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ В УСЛОВИЯХ МОДЕРНИЗАЦИИ ОБРАЗОВАНИЯ

Димитриева О. А.

SPIRITUAL AND MORAL EDUCATION OF STUDENTS OF EDUCATIONAL INSTITUTIONS OF SECONDARY VOCATIONAL EDUCATION IN THE CONTEXT OF MODERNIZATION EDUCATION

Dimitrieva O. A.

Аннотация. В статье рассматривается проблема возвращения духовно-нравственного воспитания в образование в контексте его модернизации.

Модернизация заключается в переформатировании отечественного образования в онтологический процесс, понимаемый как смысловое развитие. Отмечается недостаточная разработанность содержания учебно-воспитательных комплексов и методического сопровождения. Духовно-нравственные принципы, усваиваемые студентами в процессе учебно-воспитательного процесса, трансформируются во внутреннее чувство нравственного порядка и способствуют формированию целостной личности студента.

Ключевые слова: модернизация образования, духовно-нравственное воспитание, организационно-педагогическое сопровождение.

Abstract. The article considers the problem of the return of spiritual and moral education to education in the context of its modernization.

Modernization consists in reformatting domestic education into an ontological process, understood as meaningful life development. Insufficient elaboration of the content of educational complexes and methodological support is noted. The spiritual and moral principles acquired by students during the educational process are transformed into an inner sense of moral order and contribute to the formation of an integral student's personality.

Key words: modernization of education, spiritual and moral education, organizational and pedagogical support.

Введение. Необходимость модернизации основного общего образования в нашей стране, создание условий для духовно-нравственного воспитания подростков, становится частью российской образовательной политики. Модернизация основана на приоритетных направлениях организации образовательной среды: развитии информационных и цифровых технологий и, не теряющих своей актуальности, идеях возрождения духовно-нравственного воспитания подростков.

Воспитание в культурной традиции, это процесс личностного становления, понимаемого как развитие единой культурно-

духовной целостности, сформировавшейся под влиянием фундаментальных идей тысячелетней истории.

Необходимость возвращения духовно-нравственного воспитания отметил Председатель Государственной Думы В.В. Володин: «Президент В.В. Путин предлагает сделать воспитание детей и молодежи обязательной частью образовательного процесса», а образование «должно включать не только знания и навыки, но и духовные, моральные ценности, которые формируют личность». Создание системы духовно-нравственного воспитания – приоритетная

задача государства, которая требует формирования нормативно-правовой базы, включая разработку и доработку образовательных стандартов. На сегодняшний день, для внедрения в общеобразовательное пространство духовно-нравственного воспитания, утверждена целая система законодательных актов.

Перечислим основные инициативы. С принятием поправок в Конституцию Российской Федерации, одобренных в ходе общероссийского голосования 01.07.2020 года, законодательно закрепляется (ст. 67), система стратегических приоритетов, «сохраняя память предков, передавших нам идеалы и веру в Бога», государство создает условия, «способствующие всестороннему духовному, нравственному, интеллектуальному и физическому развитию детей».

Внесены изменения в Федеральный Закон «Об образовании в Российской Федерации», одобренные 24.07.2021 года. В нем воспитание обозначено, как «деятельность, направленная на развитие личности обучающихся на основе социокультурных, духовно-нравственных ценностей». Приказом Министерства просвещения Российской Федерации 31.05.2021 (№ 287) утвержден новый ФГОС (Федеральный государственный образовательный стандарт основного общего образования), ориентированный на изучение обучающимися основ духовно-нравственных культур народов Российской Федерации (п. 2).

В «Стратегии развития воспитания в Российской Федерации на период до 2025 года» сказано, что «стратегия опирается на систему духовно-нравственных ценностей, сложившихся в процессе культурного развития России».

В «Стратегических приоритетах в сфере реализации государственной программы РФ "Развитие образования" до 2030 года», сказано, что целями новых федеральных образовательных стандартов общего образования являются обеспечение качества общего образования, «повышение роли в воспитании молодежи на основе традиционных российских духовно-нравственных и культурно-исторических ценностей». В ежегодном докладе Правительства РФ Федеральному Собранию РФ «О реализации государственной политики в сфере образования» (Москва, 2021) декларируется, что приоритеты деятельности системы

образования осуществляются на основании проекта Единого плана по достижению национальных целей развития на период до 2030 года, принятого за основу по итогам совместного заседания Государственного Совета РФ и Совета при Президенте РФ по стратегическому развитию и национальным проектам (23.12.2020), которое будет обеспечиваться в рамках национального проекта «Образование».

На данный период «предпринимаются меры по совершенствованию воспитательного потенциала образовательных организаций, направленные на развитие духовно-нравственного воспитания учащихся».

Социологические замеры общественного мнения свидетельствуют, что против модернизации не возражает и педагогическое сообщество.

Бондаревская Е.В. отмечала, что духовно-нравственное воспитание, как одно из главных смыслообразующих звеньев, выпало из практики современного образования, но именно оно, делает образование человеко-созидательным, культурно-творческим процессом.

Современные ученые (Е.П. Белозерцев, С.Ю. Дивногорцева, Н.В. Маслов, В.И. Слободчиков, Т.В. Склярова) считают, что модернизация современного отечественного образования заключается в переформатировании образования в онтологический процесс, понимаемый как смысложизненное развитие. Образование, по мнению Е.П. Белозерцева, это историко-культурный феномен, являющийся условием культурной жизни определенного народа. Студент получает образование в конкретном поле смысловых ценностей, значений, идеалов, нравов, носящих, в первую очередь, национальный характер, который присущ народу, его истории и мироощущению.

По нашему мнению, процесс духовно-нравственного воспитания в образовательных организациях среднего профессионального образования, наиболее эффективно будет осуществляться, начиная с периода раннего подросткового возраста. Психологическим критерием в этот возрастной период является осознание необходимости смены образа жизни, при этом, студенты первых курсов не могут объективно оценить подлинный объем своих знаний и умений. Проявляется стремление осуществлять все самостоятельно, не имея

соответствующих навыков, отсюда происходит требование свободы действий. Кроме того, в этом возрасте начинается гормональная перестройка организма, так называемый пубертатный период. Духовно- нравственное воспитание в это время необходимо для становления системы внутренних ценностных координат, осознания личностной ответственности, баланса реального и воображаемого, что позволит реалистично оценивать себя и свое место в окружающей действительности.

Основная проблема модернизации образования заключается в недостаточной разработанности содержания учебно-методических комплексов и методического сопровождения духовно-нравственного воспитания студентов.

Кроме того, для реализации поставленных задач, необходимо обеспечить организационно-педагогическое сопровождение, позволяющее максимально эффективно осуществлять обучение, которое мы рассматриваем как процесс, как метод и как систему профессиональной деятельности. Духовно-нравственное воспитание и развитие студентов образовательных организаций среднего профессионального образования подразумевает сложное интегрирование традиций, норм, обычаев и обрядов: государственных, общественных, национальных, этнических, культурных и религиозных. Причиной противоречий, не позволяющих внедрить в современный образовательный процесс комплексную систему духовно-нравственного воспитания, по замечанию архимандрита Георгия (Шестуна), является не разработанность систематизированной теории «духовно-нравственного становления личности как единого, неразрывно совершающегося в различных сферах жизнедеятельности». Обоснование и внедрение такого комплекса становится возможным при рассмотрении непрерывности процесса с формированием каждого из элементов. При создании теоретической и практической системы духовно-нравственного воспитания, считает Шестун, существуют следующие противоречия:

1) противоречие между традиционно-религиозным взглядом на жизнь как вечную и фрагментарным образовательным взглядом на жизнь, как единственного и самоценного отрезка;

2) противоречие проектирования образовательного процесса без учета семейного воспитания, которое часто организовано в традиционно-культурных воззрениях;

3) противоречие между идеализацией взглядов на природу личности, что искажает спроектированные образовательно-воспитательные модели и традиционно-религиозного взгляда на природу личности, требующую не только развития, но и исправления;

4) противоречие между гуманистическими (антропоцентрическими) общепринятыми взглядами на образовательный процесс, когда вместо духовно-нравственного воспитания, способствующего личностному развитию, студент «обожается» и находится в эпицентре педагогического процесса и культурно-традиционной моделью, соответствующей онтологическому восприятию бытия, с использованием этого подхода в структуре российского образования и воспитания;

5) противоречие, возникающее при целенаправленном воспитательном процессе в образовательной организации, когда в возрастной периодизации не учитывается взаимозависимость психофизической и духовной функций в развитии подростка, что отражается на правильном духовном становлении личности.

Для большей эффективности организационно-педагогического сопровождения духовно-нравственного воспитания студентов образовательных организаций среднего профессионального образования, необходимо раскрыть содержание таких терминов, как нравственность и духовность. Они определяются средствами понятийного аппарата философской, педагогической, психологической, богословской наук и дисциплин. Само понятие «духовно-нравственное воспитание» выходит за рамки общего определения воспитания и, по мнению С.Ю. Дивногорцевой, нужно рассматривать его в традициях российской культуры. В таком случае, определение воспитания необходимо расширить, выстроив иерархическое главенство целей и определить его, как «специально организованное, управляемое и контролируемое взаимодействие педагогов и студентов, конечной своей целью имеющее освящение и преобразование личности студента».

Модернизация образования воспринимается как набор директивных инструментов, формирование новых стереотипов и норм поведения, но осуществится на практике она только тогда, когда станет живой личностной реакцией на события. По мнению Л.В. Суровой, личность, в условиях общего образования, развивается полноценно, если усваивает три направления: получает качественные знания, духовное развитие «со всей полнотой души» и нравственные идеалы.

Важным свойством духовно-нравственного воспитания, по мнению С.Н. Лукаша, является синтез личностных знаний и ценностей прошлых поколений. В организации педагогического процесса в образовательной организации среднего профессионального образования, задача педагога не только дать знания, но и направить студента на экстраполяцию полученного образования в будущее. Содержательное понимание основ, обозначающих идеалы-цели, личность обретает сама, аккумулирует и трансформирует существующие нормы, как «первообраз, образец-мечта, к которому стремится человек в своем личностном онтогенезе».

Цель духовно-нравственного воспитания, основанного на традиционных культурных принципах, – исполнение экзистенциальных потребностей нравственного долга и стремление к совершенству. Основные составляющие категории «нравственность»: добро и зло и умение их различать, закон совести, долг и ответственность, в секулярном и духовном содержании имеют разную интенцию. Нравственности присуща регулятивная функция, заключающаяся в формировании у студентов образовательных организаций среднего профессионального образования ценностного отношения к окружающему миру. Практическая деятельность нравственно ориентированного студента находится в семантической связи с его взглядами и представлениями. Нравственность – характеризуется внутренней ориентированностью на абсолютные ценности, которые определяют способ практической направленности действий.

В.М. Пустовалов выделяет четыре функциональных признака нравственности:

1) нравственность, – это конкретные ценности, определяющие отношение человека к обществу;

2) нравственность, присуща только человеку и отражает активность его сознания;

3) нравственность является совокупностью взглядов и представлений человека, проецируемыми в практическую деятельность;

4) нравственное требование, означающее «ты должен независимо от своих интересов», является способом моральных отношений.

Т.И. Петракова утверждает, что между понятиями «духовность» и «нравственность» существует не только семантическая, но и онтологическая связь: «Нормы и принципы нравственности получают идейное обоснование и выражение в идеалах добра и зла, являющимися категориями духовности... Если духовность характеризует высшие, «вертикальные» устремления личности, то нравственность – это сфера «горизонтальных» устремлений: отношений с людьми и обществом».

Духовно-нравственное воспитание, как и любая развивающая личностная деятельность, невозможно без отношений субъект-субъект и эффективна при условии правильного контролируемого процесса воспитания. Нравственность – это ступень к духовности, способность человека, а в нашем случае студента, осмысленно действовать в соответствии с заложенными принципами, не полученными раз и навсегда, а свободно развивающимися в личности. При отсутствии нравственных принципов, утрате духовной составляющей, происходит как личностный, так и социально-общественный распад. Утрачивается возможность четкого различения понятий добра и зла, долга, ответственности и совести. Потеря стержневой роли духовно-нравственного воспитания в образовании, семье и обществе, переформатировании понимания сути духовности, подмена культурного наследия массовой культурой, приводят к возникновению кризиса в обществе.

Духовно-нравственные принципы, усваиваемые подростками в процессе воспитания, трансформируются во внутреннее чувство нравственного порядка и способствуют формированию целостной личности.

Список источников

1. Акчулпанова Р.У. Средства ИКТ в духовно-нравственном воспитании студентов/ Р.У. Акчулпанова, Л.У. Жданова // Теория и практика образования в современном мире: материалы VI междунар. науч. конф. (г. Санкт-

Петербург, декабрь 2023 г.). – СПб.: Заневская площадь, 2023 – 316-319 с.

2. Боташева Х.Ю. Духовно-нравственные ценности студента университета в зеркале социологического анализа/ Х.Ю. Боташева // Известия РГПУ им. А.И. Герцена, 2019 – №77. – 259-265 с.

3. Гуманизм как стратегия развития современного российского общества: проблемы, перспективы: тр. Всерос. науч. конф. [Текст]/ Воронеж. гос. техн. ун-т; отв. ред. Л.Я. Курочкина; ред. Б.В. Васильев. – Воронеж: ВГТУ, 2019 – 259 с.

4. Дзукаева Е.Н. О духовно-нравственной культуре студентов медицинского ВУЗа [Текст]/ Е.Н. Дзукаева. [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://teoriapractica.ru/rus/files/arhiv_zhurnal/2013/8/pedagogika/dsukaeva.pdf (дата обращения: 18.10.2024).

5. Магомедов А.А. Воспитательная работа в современном вузе [Текст] / А.А. Магомедов, Б.А. Тахохов. – Владикавказ, 2020 – С. - 256.

6. Пугачева Н.Б. Концептуальные основы формирования духовно-нравственной культуры студенческой молодежи / Н.Б. Пугачева. [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://sociosphera.com/publication/conference/2011/106/konceptualnye_osnovy_formirovaniya_dukhovnonravstvennoj_kultury_studencheskoj_molodzhi/ (дата обращения: 18.10.2024).

References

1. Akchulpanova, R.U. ICT tools in the spiritual and moral education of students/ R.U. Akchulpanova, L.U. Zhdanova // Theory and practice of education in

the modern world: materials of the VI International Scientific Conference (St. Petersburg, December 2023). – St. Petersburg: Zanevskaya Square, 2023 – 316-319 S.

2. Botasheva, H.Y. Spiritual and moral values of a university student in the mirror of sociological analysis/ H.Y. Botasheva // Izvestiya RSPU named after A.I. Herzen, 2019 – №77. – 259-265 S.

3. Humanism as a strategy for the development of modern Russian society: problems, prospects: tr. All-Russian scientific conf. [Text]/ Voronezh State Technical University Univ.; ed. by L.Ya. Kurochkin; ed. by B.V. Vasiliev. – Voronezh: VSTU, 2019 – 259 p.

4. Dzukaeva, E.N. On the spiritual and moral culture of medical university students [Text]/ E.N. Dzukaeva. [Electronic resource] – Access mode: http://teoriapractica.ru/rus/files/arhiv_zhurnal/8/pedagogika/dsukaeva.pdf (accessed: 10/18/2024).

5. Magometov, A.A. Educational work in a modern university [Text] / A.A. Magometov, B.A. Takhokhov. – Vladikavkaz, 2020 – p. 256.

6. Pugacheva, N.B. Conceptual foundations of the formation of spiritual and moral culture of student youth / N.B. Pugacheva. [Electronic resource] – Access mode: http://sociosphera.com/publication/conference/2011/106/konceptualnye_osnovy_formirovaniya_dukhovnonravstvennoj_kultury_studencheskoj_molodzhi/ (accessed: 10/18/2024).

Статья поступила в редакцию 25.08.2024

Информация об авторе

Димитриева Ольга Александровна, преподаватель дисциплин профессионального и общепрофессионального циклов ГБОУ СПО ЛНР «Луганский технологический колледж». <https://orcid.org/0009-0009-4217-1178/print>
E-mail: valova-olga2@yandex.ru

Information about the author

Dimitrieva Olga Aleksandrovna, teacher of disciplines of general professional and professional cycles of the State Budgetary Educational Institution of Secondary Professional Education of the LPR “Lugansk Technological College”. <https://orcid.org/0009-0009-4217-1178/print>
E-mail: valova-olga2@yandex.ru

Для цитирования:

Димитриева О. А. Духовно-нравственное воспитание студентов образовательных организаций среднего профессионального образования в условиях модернизации образования // Вестник Луганского государственного университета имени Владимира Даля. – 2024. – № 11(89). – С. 48-52.

For citation:

Dimitrieva O. A spiritual and moral education of students of educational institutions of secondary vocational education in the context of modernization education // Vestnik of Lugansk State University named after Vladimir Dahl. – 2024. – № 11(89). – P. 48-52.

УДК 621.694

**ОСОБЕННОСТИ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА СМЕШЕНИЯ ПОТОКОВ
В КАВИТАЦИОННОМ ГИДРОСТРУЙНОМ НАСОСЕ-СМЕСИТЕЛЕ,
В СИСТЕМАХ ВОДОСНАБЖЕНИЯ И ВОДООТВЕДЕНИЯ****Квенцель А. Л.****FEATURES OF THE WORKING PROCESS OF MIXING STREAMS IN A
CAVITATION HYDROTHER-JET PUMP - MIXER, IN WATER SUPPLY AND
DRAINAGE SYSTEMS****Kventsels A. L.**

Аннотация. Работа гидроструйного насоса-смесителя в системах водоснабжения и водоотведения осуществляется, как правило, в режиме малых относительных расходов пассивного потока. Связано это с тем, что в качестве эжектируемой среды используются компоненты, объемный расход которых, по сравнению с расходом активного потока мал. Гидроструйный насос представляет собой комплексную машину, а именно дозатор-смеситель-насос. Существенно улучшить процесс смешения, т.е. получить качественную однородную смесь, обладающую повышенной стойкостью к расслоению, можно совместив работу струйного насоса-смесителя с кавитационными явлениями в его проточной части. Генерировать кавитацию целесообразно в пограничном слое высокоскоростных струй активного потока.

В данной работе показано, что рабочий процесс кавитационного струйного насоса-смесителя подобен работе струйного насоса в режиме начальной кавитации. Напорные характеристики кавитационного струйного насоса-смесителя представляют нелинейную зависимость относительного напора от коэффициента эжекции при определенных значениях относительной площади сопла, плотности потоков, чисел кавитации. Предельно достижимые возможности кавитационного струйного насоса-смесителя и гидродинамического кавитационного насоса-смесителя отражаются экстремальными характеристиками. Их физический смысл заключается в балансе минимального энергопотребления и эффективного осуществления рабочего процесса устройства и является основой для расчета эффективных аппаратов непрерывного действия с минимальным энергопотреблением.

Ключевые слова: гидроструйный насос-смеситель, дозатор-смеситель-насос, кавитация, рабочий процесс, напорные характеристики, относительный напор, коэффициент эжекции, относительная площадь сопла, плотность потоков, число кавитации, энергопотребление.

Abstract. The operation of a water jet mixer pump in water supply and sanitation systems is carried out, as a rule, in the mode of low relative passive flow rates. This is due to the fact that components are used as the ejected medium, the volume flow of which is small compared to the flow of the active stream. The water jet pump is a complex machine, namely a dispenser-mixer-pump. It is possible to significantly improve the mixing process, i.e. to obtain a high-quality homogeneous mixture with increased resistance to delamination, by combining the operation of a jet mixer pump with cavitation phenomena in its flow part. It is advisable to generate cavitation in the boundary layer of high-speed jets of an active stream. This paper shows that the working process of a cavitation jet mixer pump is similar to the operation of a jet pump in the initial cavitation mode. The pressure characteristics of a cavitation jet mixer pump represent a nonlinear dependence the relative pressure depends on the ejection coefficient at certain values of the relative nozzle area, flow density, and cavitation numbers. The extremely achievable capabilities of a cavitation jet mixer pump and a hydrodynamic cavitation mixer pump are reflected by their extreme characteristics. Their physical meaning lies in the balance of minimal energy consumption and efficient implementation of the device's workflow and is the basis for calculating efficient continuous devices with minimal energy consumption.

Key words: *hydraulic jet mixer pump, dispenser mixer pump, cavitation, workflow, pressure characteristics, relative head, ejection coefficient, relative nozzle area, flow density, number of cavitations, energy consumption.*

Введение. Гидроструйные насосы широко применяются в различных отраслях промышленности: энергетике, металлургии, машиностроении, нефтяной и химической, а также в системах водоснабжения и водоотведения. Как правило, гидроструйные аппараты выполняют технологические процессы продолжительное время и непрерывно. Поэтому, сравнительно малое увеличение их эффективности приводит к существенной экономии энергии и снижению затрат.

Работа гидроструйного насоса-смесителя в системах водоснабжения и водоотведения осуществляется, как правило, в режиме малых относительных расходов пассивного потока. Связано это с тем, что в качестве эжектируемой среды используются компоненты, объемный расход которых, по сравнению с расходом активного потока, мал.

Гидроструйный насос представляет собой комплексную машину, а именно дозатор-смеситель-насос. Существенно улучшить процесс смешения, т.е. получить качественную однородную смесь, обладающую повышенной стойкостью к расслоению, можно совместив работу струйного насоса-смесителя с кавитационными явлениями в его проточной части. Генерировать кавитацию целесообразно в пограничном слое высокоскоростных струй активного потока. В случае отсутствия притока пассивной среды гидро-струйный кавитационный насос-смеситель становится только смеси-телем (выполняет функцию смесителя).

Целью настоящей работы является совершенствование насоса-смесителя, рабочего процесса и расчет гидродинамического кавитационного который заключается в определении режимных параметров и основных геометрических размеров проточной части аппарата, обеспечивающих осуществление необходимых технологических процессов (смешение, диспергирование потоков и др.) с

минимальным энергопотреблением.

Изложение основного материала исследования.

Расчётная модель и характеристики кавитационного гидроструйного насоса-смесителя.

Струйный кавитационный насос-смеситель является комплексным аппаратом – дозатор – смеситель – насос. Действительно, устройство способно осуществлять предварительную подготовку компонентов смеси – дозирование активного и пассивного потоков; приготовление смеси – качественное смешение потоков; повышение напора потока смеси необходимого для дальнейшего транспортирования ее потребителю. В случае отсутствия притока пассивной среды струйный кавитационный насос-смеситель становится только смесителем (выполняет функцию смесителя). Рабочий процесс смешения потоков в струйном насосе-смесителе можно качественно улучшить, генерируя кавитационные явления в проточной части аппарата. Поэтому кавитацию целесообразно генерировать в пограничном слое струи. С целью усиления кавитационного процесса следует увеличить количество источников кавитации и равномерно расположить их по сечению потока жидкости. Это возможно реализовать с помощью многоструйного соплового устройства, образующего несколько высокоскоростных струй [3, 7].

Выражение характеристики кавитационного струйного насоса-смесителя выводится из безразмерной напорной характеристики струйного насоса (1.14) [1] и выражений, отражающих кавитационные явления в струйном насосе.

Проанализируем течение в проточной части струйного насоса-смесителя при первом критическом режиме кавитации. Последний наблюдается при полном давлении пассивного потока в приемной камере:

$$h = \frac{\left[2 \cdot \Omega \left(\beta_{0a} + \beta_{3II} \cdot \frac{\Omega}{(1-\Omega)} \cdot \delta \cdot q^2 \right) + (\alpha_{4cm} - 2 \cdot \beta_{4cm}) \cdot (1 + \delta \cdot q) \cdot \Omega^2 \cdot (1 + q)^2 \right]}{(\alpha_{0a} + \zeta_c)} -$$

$$- \frac{\alpha_{3II} \cdot \delta \cdot \left(\frac{q \cdot \Omega}{1-\Omega} \right)^2 - (\zeta_{TP} + \zeta_{диф}) \cdot (1 + \delta \cdot q) \cdot \Omega^2 \cdot (1 + q)^2 - \zeta_{ex} \cdot \delta \cdot \left(\frac{q \cdot \Omega}{1-\Omega} \right)^2}{(\alpha_{0a} + \zeta_c)}$$

$$P_2^* = p_v + \sigma^I \cdot \frac{\rho_a \cdot v_{0a}^2}{2} + \sigma^{II} \cdot \frac{\rho_n \cdot v_{3II}^2}{2}, \quad (1.1)$$

где p_v – давление насыщенных паров жидкости, v_{0a} , v_{3II} – скорости активного и пассивного потоков; σ^I , σ^{II} – числа кавитации, соответствующие первому и второму критическому режиму работы насоса-смесителя [3, 6]

Число кавитации, характеризующее второй критический режим, зависит от геометрии входного канала 2-3 и режима течения в нем:

$$\sigma^{11} = \alpha_{3II} + \xi_{вх}. \quad (1.2)$$

Значение числа кавитации у струйных насосов, имеющих плавный вход в камеру смешения и открытую приемную камеру, составляет:

$$\sigma^{11} = 1,03 - 1,3 [3,7]$$

В работе [7], посвященной исследованию рабочего процесса струйных насосов, предложена формула, выражающая зависимость первого числа кавитации от относительной площади сопла:

$$\sigma^I = 0,07 + 1,36 \cdot \Omega \cdot (1 - \Omega). \quad (1.3)$$

Составим уравнение Д. Бернулли для активного потока в сопловом устройстве и найдем взаимосвязь между полным напором активного потока перед соплом, давлением в приемной камере и динамическим давлением струи активного потока:

$$H_1 = \frac{P_2}{\rho_a \cdot g} + (\alpha_{0a} + \zeta_c) \cdot \frac{v_{0a}^2}{2g}. \quad (1.4)$$

Совместно решая уравнения (1.1), (1.4) и принимая во внимание, что:

$$(H_1 - p_2 / \rho_a g) \approx (H_1 - H_2),$$

Получим:

$$H_1 - H_2 = \frac{\left(H_2 - \frac{P_v}{\rho_a \cdot g} \right) \cdot (\alpha_{0a} + \zeta_c)}{\left[\sigma^I + \sigma^{II} \cdot \delta \cdot \left(\frac{q \cdot \Omega}{1-\Omega} \right)^2 \right]}. \quad (1.5)$$

Введем новый параметр относительный напор кавитационного струйного насоса-смесителя:

$$h^1 = \frac{H_5 - H_2}{H_2 - \frac{P_v}{\rho_a \cdot g}} \quad (1.6)$$

Выражение (1.7) позволяет при известных

относительной площади сопла, коэффициенты эжекции, определенных коэффициентах неравномерности потоков и сопротивления элементов проточной части определить требуемую величину относительного напора струйного насоса-смесителя с кавитационными явлениями в струйном пограничном слое.

$$h' = \frac{2 \cdot \Omega \left(\beta_{0a} + \beta_3 \Pi \cdot \frac{\Omega}{(1-\Omega)} \cdot \delta \cdot q^2 \right) - \alpha_3 \Pi \cdot \delta \cdot \left(\frac{q \cdot \Omega}{1-\Omega} \right)^2}{\left[\sigma' + \sigma'' \cdot \delta \cdot \left(\frac{q \cdot \Omega}{1-\Omega} \right)^2 \right]} + \frac{\left(\alpha_{4cm} - 2 \cdot \beta_{4cm} - \zeta_{TP} - \zeta_{диф} \right) \cdot (1 + \delta \cdot q) \cdot \Omega^2 \cdot (1 + q)^2 - \zeta_{ex} \cdot \delta \cdot \left(\frac{q \cdot \Omega}{1-\Omega} \right)^2}{\left[\sigma' + \sigma'' \cdot \delta \cdot \left(\frac{q \cdot \Omega}{1-\Omega} \right)^2 \right]} \quad (1.7)$$

На рис. 1.1 представлено семейство безразмерных напорных характеристик кавитационного струйного насоса-смесителя.

Анализ напорных характеристик кавитационного насоса- смесителя (рис.1.1) свидетельствует о следующем:

1. Напорная характеристика струйного кавитационного насоса-смесителя представляет нелинейную зависимость относительного напора от коэффициента эжекции.

При определенном значении относительной площади Ω насоса-смесителя относительный напор возрастает с уменьшением коэффициента эжекции, достигая максимальной величины в режиме смесителя – холостой режим ($q=0$).

В таком случае аппарат работает как смеситель предварительно подготовленного потока, при этом функции дозатора и нагнетателя пассивной среды не выполняет.

2. С уменьшением относительной площади сопла напорные характеристики становятся более пологими, при этом достижимый относительный напор уменьшается, а коэффициент эжекции возрастает.

3. Семейство напорных характеристик $h'(q)$ располагается в нижнем левом углу координатной плоскости $q-h'$. К их множеству можно провести огибающую,

которая делит все координатное поле на две части (сплошная утолщенная линия): область возможных режимов работы кавитационного эжектора-смесителя и физически невозможных. Следовательно, огибающая является предельно достижимой характеристикой кавитационного эжектора-смесителя.

На рис. 1.2 представлены предельно достижимые характеристики кавитационного $h'_{\max}$ насоса-смесителя при нескольких значениях относительной плотности. Огибающие являются собирательными характеристиками, поскольку их точки принадлежат разным аппаратам, имеющим различную относительную площадь сопла Ω . Соотношение площадей сопла и смесительной камеры, при котором относительный напор предельно достижим, является оптимальным $\Omega_{\text{опт}}$.

Зависимость оптимальной площади сопла от коэффициента эжекции представлена на графике выпуклыми линиями (рис. 1.2).

Предельно достижимые характеристики позволяют рассчитать кавитационный насос-смеситель с минимальным энергопотреблением при известных физических свойствах компонентов смеси (активной и пассивной сред) и их объемной доли в потоке смеси. При отсутствии потока пассивной среды $Q_{\text{п}}=0$ струйный кавитационный насос-смеситель работает в холостом режиме, т.е. является только кавитационным смесителем (кавитатор).

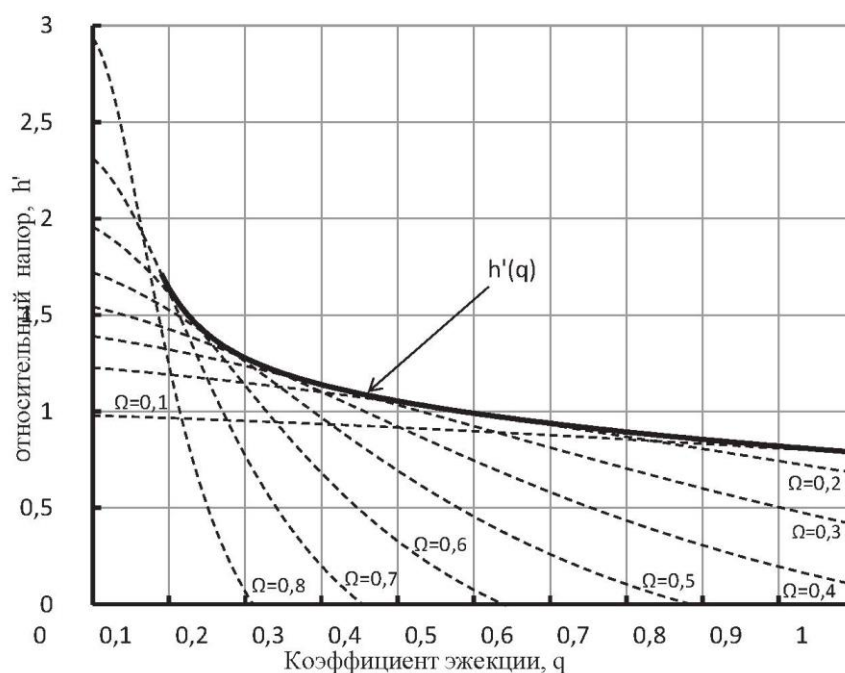


Рис. 1.1. Напорные характеристики кавитационного струйного насоса-смесителя

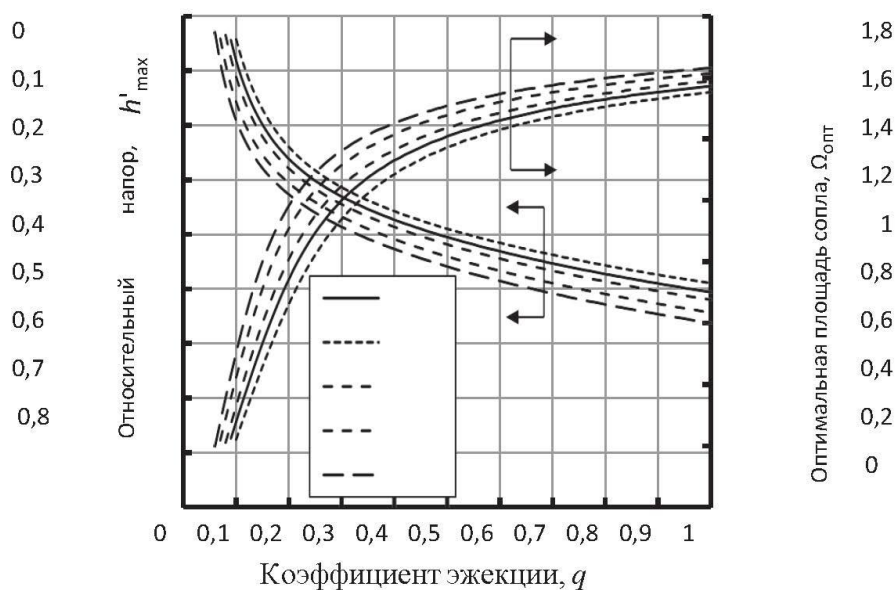


Рис. 1.2. Предельно достижимые характеристики кавитационного насоса-смесителя при различных относительных плотностях смешиваемых сред

Выводы. Характеристики гидродинамических смесителей представляют взаимосвязь относительного напора, относительной площади, кавитационного числа и коэффициентов гидравлического сопротивления элементов проточной части. Каждой характеристике соответствует область с оптимальными значениями относительной площади, при которой потери напора в смесителе минимальны. Предельно достижимые возможности кавитационного

струйного насоса-смесителя и гидродинамического кавитационного смесителя отражаются экстремальными характеристиками. Их физический смысл заключается в балансе минимального энергопотребления и эффективного осуществления рабочего процесса устройства, т.е. дозирование-смешение-транспорт потоков в случае насоса-смесителя, а для холостого режима работы (смесителя) – перемешивание потоков. Предельно достижимые

характеристики являются основой для расчета эффективных аппаратов непрерывного действия с минимальным энергопотреблением.

Список источников

1. Квенцель А.Л., Ремень В.И. Рабочий процесс и характеристики струйного насоса эжекторного снаряда при вращательно-ударном разведочном бурении инженерно-геологических скважин. Вестник Луганского государственного университета имени Владимира Даля. – №11(41). 2020. – С. 72-77.
2. Соколов Е.Я. Струйные аппараты. – 3-е изд., перераб. / Е.Я. Соколов, Н.М. Зингер. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 352 с.
3. Лямаев Б.Ф. Гидроструйные насосы и установки / Б.Ф. Лямаев. – Л.: Машиностроение, Ленингр. отд., 1998. – 256 с.
4. Темное В.К. Расчёт и проектирование жидкостных эжекторов: учебное пособие / В.К. Темнов, Е.К. Спиридонов. – Челябинск: ЧПИ, 1998. – 44 с.
5. Волков Э.П. [и др.] Исследование вращающейся цилиндрической гидродинамической решетки кавитаторов // Теплоэнергетика. Тепло-энергетика, 1999 г. – №5. – С. 21-24.
6. Спиридонов, Е.К. Битюцких С.Ю. О работе жидкостного эжектора при малых коэффициентах эжекции // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – Самара: Издательство Самарского научного центра РАН, 2018 г. – 1(2) : Т. 16. – С. 538-542.

Информация об авторе

Квенцель Анатолий Леонидович, к.т.н., доцент кафедры «Общобразовательные дисциплины» «Институт строительства, архитектуры и жилищно-коммунального хозяйства» Луганский государственный университет имени Владимира Даля.

7. Идельчик, И.Е. Аэрогидродинамика технологических аппаратов. – М.: Машиностроение, 1993. – С. 351.

References

1. Kventzel A.L., Belt V.I. Workflow and characteristics of the jet pump of the ejector projectile during rotary-impact exploration drilling of engineering and geological wells. Bulletin of Lugansk State University named after Vladimir Dahl. – №11(41). 2020. – Pp. 72-77.
2. Sokolov E.Ya. Jet devices. – 3rd ed., revised / E.Ya. Sokolov, N.M. Singer. – M.: Energoatomizdat, 1989. – 352 p
3. Lyamaev B.F. Hydraulic jet pumps and installations / B.F. Lyamaev. – L.: Mashinostroenie, Leningrad Publishing House, 1998. 256 p.
4. Dark V.K. Calculation and design of liquid ejectors: a textbook / V.K. Temnov, E.K. Spiridonov. Chelyabinsk: CHPI, 1998. 44 p .
5. Volkov E.P. [et al.] Investigation of a rotating cylindrical hydrodynamic lattice of cavitators // Thermal power engineering. Heat and Power Engineering, 1999, No. 5, pp. 21-24.
6. Spiridonov, E.K. Bityutskikh, S.Yu. On the operation of a liquid ejector at low ejection coefficients // Proceedings of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences
7. Idelchik, I.E. Aerohydrodynamics of technological devices. Moscow: Mashinostroenie Publ., 1993, p. 351.

Статья поступила в редакцию 19.08.2024.

Information about the author

Kventsel Anatoliy Leonidovich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the "General Education Disciplines", "Institute of Construction, Architecture and Housing and Communal Services", Luhansk State University named after Vladimir Dahl.

Для цитирования:

Квенцель А. Л. Особенности рабочего процесса смешения потоков в кавитационном гидроструйном насосе-смесителе, в системах водоснабжения и водоотведения // Вестник Луганского государственного университета имени Владимира Даля. – 2024. – № 11(89). – С. 53-58.

For citation:

Kventsel A. L. Features of the working process of mixing streams in a cavitation hydrother-jet pump - mixer, in water supply and drainage systems // Vestnik of Lugansk State University named after Vladimir Dahl. – 2024. – № 11(89). – P. 53-58.

УДК 621.695.3

ОБОСНОВАНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ НАГНЕТАТЕЛЬНОЙ ЭРЛИФТНОЙ УСТАНОВКИ С ВОЗДУХОСТРУЙНЫМ КОМПРЕССОРОМ

Кононенко А. П., Божко Р. И.

JUSTIFICATION OF THE ENERGY EFFICIENCY OF WORK INJECTION AIRLIFT UNIT WITH AN AIR JET COMPRESSOR

Kononenko A. P., Bozhko R. I.

Аннотация. На основании известных зависимостей, полученных в том числе учеными ФГБОУ ВО «ДонНТУ», проведено обоснование эффективности и целесообразности применения воздушоструйного компрессора для преобразования части избыточного давления потока рабочего воздуха в дополнительный расход воздуха, подаваемого к эрлифту.

Исследованы схемы традиционной и нагнетательной эрлифтных установок, применяемых для откачки жидкости из водосборных емкостей угольных предприятий в подземных условиях.

Доказана эффективность применения струйных аппаратов в составе эрлифтных установок.

Ключевые слова: нагнетательная эрлифтная установка, воздушоструйный компрессор, подача, удельный расход воздуха, давление, коэффициент инжекции, высота перепада.

Abstract. Based on the well-known dependencies obtained, among others, by scientists of the DonNTU Federal State Budgetary Educational Educational Institution, a justification was carried out for the effectiveness and expediency of using an air jet compressor to convert part of the excess pressure of the working air flow into additional air flow supplied to the airlift.

The schemes of traditional and injection airlift installations used for pumping liquid from the catchment tanks of coal enterprises in underground conditions are investigated.

The effectiveness of using jet devices as part of airlift installations has been proven.

Key words: injection airlift unit, air jet compressor, supply, specific air flow, pressure, injection coefficient, lifting height.

Введение. Для повышения экономичности эрлифтных установок, которые используются для гидромеханизированной очистки шахтных водосборных емкостей, при питании их сжатым воздухом от общешахтной пневмосети, когда глубина погружения смесителя эрлифта не превышает 4...5 м, целесообразно применять воздушоструйные компрессоры на подводящих трубопроводах. Избыточное давление в шахтной пневмосети, как правило, составляет 0,5...0,6 МПа. При работе эрлифтных установок для данной цели давление сжатого воздуха оказывается завышенным

приблизительно в 10 раз, в сравнении с необходимым для работы эрлифта. Практика использования эрлифтов с воздушоструйным компрессором в воздухопроводе [1, 2, 4] доказывает возможность использования излишка давления в пневмосети для инжестирования струйным аппаратом атмосферного воздуха, что позволяет повысить экономичность эрлифтных установок.

Изложение основного материала. Определим основные параметры работы эрлифтных установок с воздушоструйным компрессором.

Удельный расход воздуха эрлифтом:

– при $(H + h)/D < 200$, $\rho gh/p_0 < 2$, $4 \leq h \leq 10$ м (D – эквивалентный диаметр подъемной трубы) [1, 2]:

$$q = 0,767\alpha^{-2,2}; \quad (1)$$

– при $\alpha > 0,5$ [1, 2]:

$$q = \frac{q_c}{\frac{p_0}{\rho gh} \ln(1 + \frac{\rho gh}{p_0})}, \quad (2)$$

где q_c – среднее газосодержание в подъемной трубе [1, 3],

$$q_c = (22,7 + 10,1\alpha)0,0063^{0,97\alpha}. \quad (3)$$

Достижимый коэффициент инжекции газоструйного компрессора и обеспечивающие его максимально возможное значение основные относительные геометрические характеристики аппарата f_{p1}/f_{p*} и f_3/f_{p*} (f_{p*} , f_{p1} – площади соответственно критического и выходного сечений рабочего сопла Лавала, f_3 – площадь сечения камеры смещения цилиндрической формы) однозначно определяются давлениями потоков (абсолютными): p_p – рабочего, p_n – инжектируемого, p_c – сжатого [4, 5, 6].

Для эрлифтной установки традиционной схемы правомерно:

- удельный расход воздуха

$$q = \frac{Q_c}{Q_3}; \quad (4)$$

- массовый расход сжатого воздуха

$$G_c = G_p + G_n; \quad (5)$$

- коэффициент инжекции газоструйного компрессора

$$u = \frac{G_n}{G_p}, \quad (6)$$

где Q_c – объемный расход воздуха на выходе из воздухоструйного компрессора (на входе в смеситель эрлифта) при нормальных технических условиях; Q_3 – объемная подача эрлифта ($Q_3 = Q_c$); G_c , G_p , G_n – массовые расходы соответственно сжатого, рабочего и инжектируемого потоков воздуха в струйном компрессоре.

Удельный расход рабочего воздуха (из пневмосети):

$$q_p = \frac{Q_p}{Q_3} = \frac{q}{1+u}, \quad (7)$$

где Q_p – объемный расход рабочего воздуха (из пневмосети) при нормальных технических условиях, $Q_p = G_p/\rho_{в0}$.

Многочисленные теоретические и экспериментальные исследования доказывают,

что использование воздухоструйного компрессора для преобразования излишне высокого давления рабочего воздуха в диапазонах $p_p = 0,4 \dots 0,8$ МПа обеспечивает снижение расхода воздуха из пневмосети до 2-х раз для эрлифтной установки с эрлифтом традиционной технологической схемы.

При наличии на предприятии (шахте, заводе и др.) пневмосети общего назначения целесообразно в качестве источника пневмоэнергии нагнетательного эрлифта применение струйного аппарата (воздухоструйного компрессора), преобразовывающего излишне высокое для этих условий давление воздуха в пневмосети в расход инжектируемой среды [4, 6].

В эрлифтах традиционной технологической схемы предусматривается безнапорное (самотечное) транспортирование жидкости (гидросмеси) от данного средства подъема к потребителю. В случае если геодезическая отметка потребителя перекачиваемой жидкости превышает отметку выходного отверстия воздухоотделителя традиционного эрлифта, применение последнего становится невозможным [4].

Нагнетательные эрлифтные установки, обеспечивающие напорное транспортирование жидкостей (гидросмесей) от воздухоотделителя по назначению, расширяют рациональную область применения газожидкостных подъемников [4].

Для реализации такого способа работы эрлифта необходимо обеспечивать требуемое избыточное давление в воздухоотделителе, что, однако, при традиционной схеме установки приводит к нежелательному снижению энергоэффективности его рабочего процесса. Сохранить, а зачастую и повысить, энергетическую эффективность работы нагнетательной эрлифтной установки в сравнении с традиционной возможно утилизацией энергии частично сжатого воздуха, подавая его из воздухоотделителя во всасывающий патрубок источника пневмоэнергии эрлифта.

Нагнетательная эрлифтная установка с воздухоструйным компрессором (Рис. 1) содержит подъемную трубу 1 (длина $h + H$), погруженную под уровень жидкости в водосборной емкости 18 на глубину h со смесителем 16 и подающей трубой 17, куда поступает перекачиваемая жидкость (гидросмесь) с расходом Q_{np} . В верхней части

подъемной трубы находится воздухоотделитель 2 со сливной 3 и воздухоотводящей 4 трубами. Воздух, питающий эрлифт, поступает из пневмосети предприятия по трубопроводу рабочего потока 10 через запорно-регулирующую задвижку 11 к воздушнотруйному компрессору 12, который инжерирует воздух, движущийся по трубопроводу 4 из воздухоотделителя 2. Воздушная смесь направляется по напорному трубопроводу 13 к смесителю 16. Жидкость, находящаяся в водосборной емкости поступает через подающую трубу в смеситель, где создается аэрогидросмесь, которая движется по подъемной трубе 1 к воздухоотделителю 2. После разделения жидкой и газообразной фаз выделившаяся жидкость с расходом Q_3 направляется через обратный клапан 21 по отводящему трубопроводу 22, который доставляет ее потребителю 23, расположенному на требуемой геометрической отметке (ΔH_n).

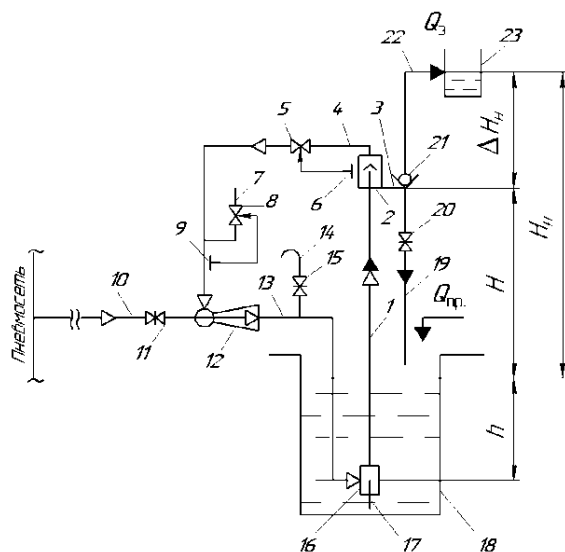


Рис. 1. Принципиальная схема нагнетательной эрлифтной установки с воздушнотруйным компрессором

Проведем анализ особенностей рабочего процесса и энергоэффективности работы нагнетательной эрлифтной установки с воздушнотруйным компрессором.

Для нагнетательного эрлифта избыточное давление в воздухоотделителе составляет

$$p_{вз} = \rho g \Delta H_n, \quad (8)$$

где ΔH_n – высота перепада нагнетательного эрлифта.

Пренебрегая потерями давления сжатого воздуха между выходным сечением струйного

аппарата и входным сечением смесителя эрлифта принимаем равными значения абсолютных давлений

$$p_c = p_{см} = p_0 + \rho g h_n, \quad (9)$$

где p_c – абсолютное давление сжатого воздуха на выходе из воздушнотруйного компрессора; $p_{см}$ – абсолютное давление в смесителе нагнетательного эрлифта.

Удельный расход воздуха $q_{эн}$ эквивалентного нагнетательного эрлифта и эквивалентного традиционного эрлифта [4] определяется по зависимостям, аналогичным (1)...(4) при $\alpha = \alpha_{эн}$ и $\alpha = \alpha_{эт}$ соответственно.

Абсолютное давление инжерируемого потока струйного аппарата нагнетательной и эквивалентной нагнетательной эрлифтной установки

$$p_{нн} = p_0 + \rho g \Delta H_n. \quad (10)$$

Коэффициент инжериции u_n воздушнотруйного компрессора нагнетательной u_n эрлифтной установки определяется для значений p_p , $p_{нн}$ и $p_{сн}$ [5].

Удельный расход рабочего воздуха определяется по зависимости, аналогичной (7) для схемы нагнетательной эрлифтной установки.

Сравнение энергетической эффективности работы нагнетательного эрлифта и эрлифта традиционной технологической схемы выполнено при одинаковых геометрических погружениях смесителей $h_n = \text{idem}$ и одинаковых высотах подъема транспортируемой жидкости H_n , которые обеспечиваются длинами подъемных труб выше уровня свободной поверхности жидкости.

Для эквивалентного нагнетательного и эквивалентного традиционного эрлифтов с использованием компьютерной программы для вычисления коэффициента инжериции газоструйного компрессора [6] и в диапазонах значений $p_p = 0,4 \dots 0,8$ МПа, $H_n = 1 \dots 10$ м, $\Delta H_n = 0,5 \dots 2,5$ м, $\alpha_n = 0,429 \dots 0,946$ определены зависимости $q_{рэн}/q_{рэт} = f(h_n)$, $q_{рэн}/q_{рэт} = f(H_n)$, $q_{рэн}/q_{рэт} = f(\Delta H_n)$, $q_{рэн}/q_{рэт} = f(p_p)$ (Рис. 2 – 4).

Как следует из полученных в результате расчетов и приведенных в качестве примеров зависимостей, в диапазонах указанных значений p_p , H_n , h_n , ΔH_n удельный расход рабочего воздуха нагнетательного эрлифта $q_{рэн}$ отличается от удельного расхода рабочего воздуха традиционного эрлифта $q_{рэт}$ не более чем на $\pm 5 \dots 10$ % при прочих равных условиях. Что подтверждает практически равноценную

энергоэффективность работы нагнетательного и традиционного эрлифтов с приведенными параметрами рабочих процессов при расширении области применения нагнетательных эрлифтных установок с

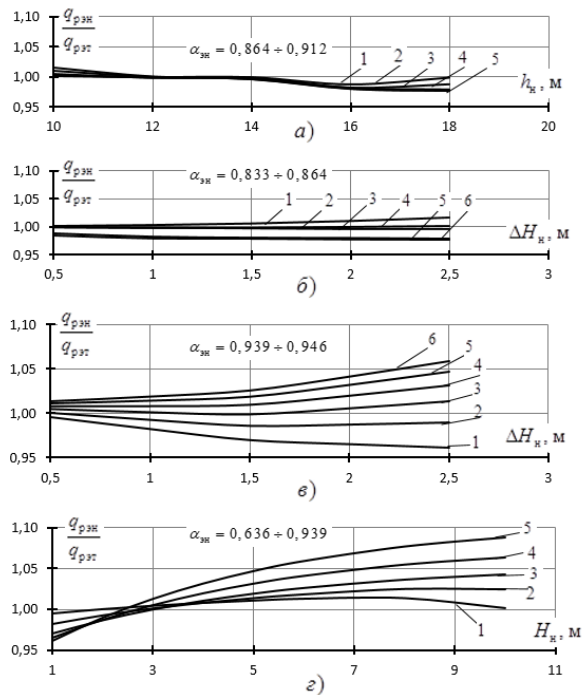


Рис. 2. Зависимости относительных удельных расходов рабочего воздуха $q_{p,эп}/q_{p,эт}$ нагнетательного эрлифта при $p_p = 0,6$ МПа от: а – геометрического погружения смесителя $h_{н}$; б, в – высоты перепада $\Delta H_{н}$; г – высоты подъема $H_{н}$

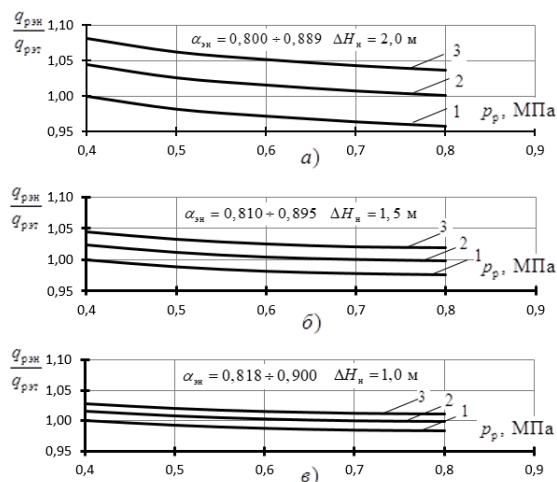


Рис. 4. Зависимости относительных удельных расходов рабочего воздуха $q_{p,эп}/q_{p,эт}$ нагнетательного эрлифта от абсолютного давления рабочего воздуха p_p при $H_{н}$: 1 – 1 м; 2 – 1,5 м; 3 – 2 м

Результаты исследований. Для диапазонов значений давлений рабочего

воздухоструйными компрессорами за счет возможности напорного транспортирования жидкости (гидросмеси) от воздухоотделителя к потребителю.

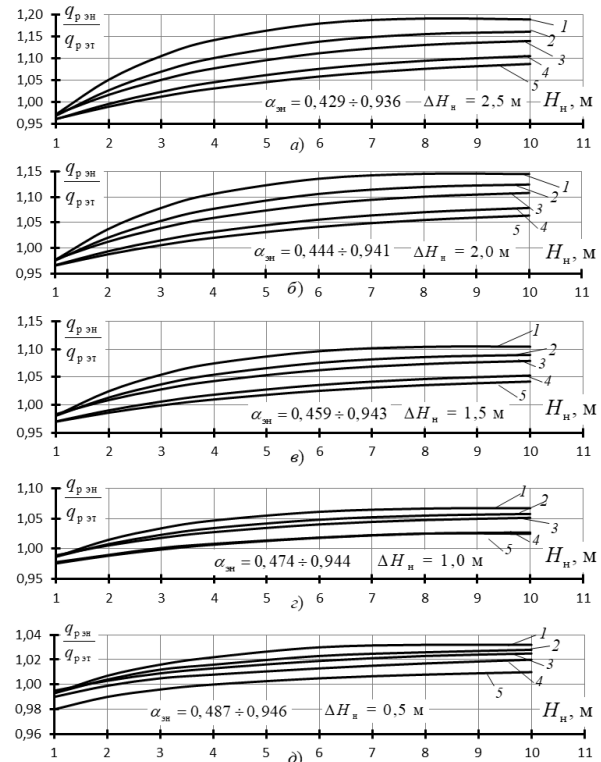


Рис. 3. Зависимости относительных удельных расходов рабочего воздуха нагнетательного эрлифта от высоты подъема при $p_p = 0,6$ МПа, $\Delta H_{н} = 0,5 \div 2,5$ м и $h_{н}$: 1 – 10 м; 2 – 12 м; 3 – 14 м; 4 – 16 м; 5 – 18 м

воздуха $p_p = 0,4 \dots 0,8$ МПа, высот подъема жидкости (гидросмеси) $H_{н} = 1 \dots 10$ м, относительных погружений смесителей $\alpha_{эп} = 0,429 \dots 0,946$, высот перепада нагнетательного эрлифта $\Delta H_{н} = 0,5 \dots 2,5$ м энергоэффективность работы нагнетательных эрлифтных установок с воздухоструйными компрессорами практически не отличается от энергоэффективности работы эрлифтных установок традиционной технологической схемы с теми же значениями геометрических параметров. При этом возможность использования нагнетательных эрлифтных установок в стесненных (по вертикали) условиях и напорного транспортирования жидкости от воздухоотделителя к потребителю значительно расширяет области их рационального применения.

Выводы. В результате проведенных исследований установлено, что энергоэффективность работы эрлифтных установок традиционной технологической

схемы с воздушоструйными компрессорами, запитанными от пневмопроводов предприятий общего назначения с давлением рабочего воздуха $p_p = 0,4 \div 0,8$ МПа, в диапазоне высоты подъема $H = 3 \div 10$ м и относительного погружения смесителей $\alpha = 0,20 \div 0,50$ повышается до 2-х раз.

Обеспечивается работа нагнетательных эрлифтных установок с воздушоструйными компрессорами без снижения ее энергоэффективности в сравнении с эрлифтными установками традиционной технологической схемы при высоте подъема $1 \leq H \leq 10$ м, высоте перепада $0,5 \leq \Delta H_n \leq 2,5$ м, относительном погружении смесителей $0,2 \leq \alpha \leq 0,5$ и давлении рабочего сжатого воздуха $p_p = 0,4 \div 0,8$ МПа.

Список источников

1. Папаяни, Ф. А. Энциклопедия эрлифтов / Ф. А. Папаяни, Л. Н. Козыряцкий, В. С. Пашенко, А.П. Кононенко - М.: Информсвязьиздат, 1995. – 592 с.
2. Козыряцкий, Л.Н. Эрлифты и гидроэлеваторы в горной промышленности : [Текст] учебное пособие / Л.Н. Козыряцкий, В.М. Моргунов, В.М. Яковлев, О.А. Геммерлинг. – Донецк: ГОУВПО «ДонНТУ», 2017. – 160 с.
3. Кононенко А.П. Рабочий процесс эрлифта и его моделирование [Текст]. – Донецк: ГВУЗ «ДонНТУ», 2010. – 171 с.
4. Кононенко, А.П. Рациональная область применения нагнетательных эрлифтных установок с воздушоструйными компрессорами / А.П. Кононенко, Р.И. Божко // Вестник Донецкого национального технического университета. – 2019. – № 3(17) – С. 17-25.

Информация об авторах

Кононенко Анатолий Петрович, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Энергомеханические системы» ФГБОУ ВО «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк.
E-mail: ap.kononenko@mail.ru

Божко Руслан Игоревич, доцент кафедры «Энергомеханические системы» ФГБОУ ВО «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк.
E-mail: bozhko342@mail.ru

5. Соколов Е.Я. Струйные аппараты / Е.Я. Соколов, Н.М. Зингер. – 3-е изд., перераб. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 352 с.

6. Кононенко, А.П. Экспериментальное обоснование рациональной методики расчета газоструйного компрессора / А.П. Кононенко, В.А. Панов // Вестник Донецкого национального технического университета. – 2018. – №3(13). – С. 25-33.

References

1. Papayani, F. A. Encyclopedia of airlifts / F. A. Papayani, L. N. Kozyratsky, V. S. Pashchenko, A. P. Kononenko - M.: Informsvyazizdat, 1995. – 592 p.
2. Kozyratsky, L.N. Airlifts and hydraulic elevators in the mining industry : [Text] textbook / L.N. Kozyratsky, V.M. Morgunov, V.M. Yakovlev, O.A. Gemmerling. – Donetsk: GOVPO "DonNTU", 2017. – 160 p.
3. Kononenko A.P. The airlift workflow and its modeling [Text]. – Donetsk: State Educational Institution "DonNTU", 2010. – 171 p.
4. Kononenko, A.P. Rational scope of application of injection airlift units with air jet compressors / A.P. Kononenko, R.I. Bozhko // Bulletin of Donetsk National Technical University. – 2019. – № 3(17) – Pp. 17-25.
5. Sokolov E.Ya. Jet apparatuses / E.Ya. Sokolov, N.M. Singer. – 3rd ed., reprint - M.: Energoatomizdat, 1989. – 352 p.
6. Kononenko, A.P. Experimental substantiation of a rational calculation method for a gas jet compressor / A.P. Kononenko, V.A. Panov // Bulletin of the Donetsk National Technical University. – 2018. – №3(13). – Pp. 25-33.

Статья поступила в редакцию 26.09.2024

Information about the authors

Kononenko Anatoly Petrovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of "Power Mechanical Systems", "Donetsk National Technical University", Donetsk.
E-mail: ap.kononenko@mail.ru

Bozhko Ruslan Igorevich, Associate Professor of the Department of "Power Mechanical Systems", "Donetsk National Technical University", Donetsk.
E-mail: bozhko342@mail.ru

Для цитирования:

Кононенко А.П., Божко Р.И. Обоснование энергетической эффективности работы нагнетательной эрлифтной установки с воздушоструйным компрессором // Вестник Луганского государственного университета имени Владимира Даля. – 2024. – № 11(89). – С. 59-64.

For citation:

Kononenko A.P., Bozhko R.I. Justification of the energy efficiency of an airlift pumping unit with an air jet compressor // Vestnik of Lugansk State University named after Vladimir Dahl. – 2024. – № 11 (89). – P. 59-64.

УДК 343.37

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ РЕГИОНОВ РОССИИ В УСЛОВИЯХ КРИЗИСА

Костенко С. В.

ECONOMIC SECURITY OF RUSSIAN REGIONS IN CRISIS CONDITIONS

Kostenko S.V.

Аннотация. Данная тема актуальна так как в нынешних экономических условиях регионы Российской Федерации нуждаются в экономической безопасности. От экономической безопасности регионов зависит стабильность социально-политической сферы всей страны, поддержание достаточного уровня жизни ее населения.

В первую очередь основываясь на междисциплинарный системный подход, учитывающий взаимодействие экономических и социальных показателей с учетом динамики социально-экономической среды, можно определить стратегические перспективы развития региона в условиях социально-экономических реорганизаций, вызванных как внешними глобальными факторами, так и внутренними изменениями и обеспечить устойчивое и безопасное развитие регионов Российской Федерации.

Ключевые слова: экономическая безопасность, развитие региона, социально-экономическое развитие.

Abstract. This topic is relevant because in the current economic conditions, the regions of the Russian Federation need economic security. The stability of the socio-political sphere of the whole country and the maintenance of an adequate standard of living for its population depend on the economic security of the regions.

First of all, based on an interdisciplinary systematic approach that takes into account the interaction of economic and social indicators, taking into account the dynamics of the socio-economic environment, it is possible to determine the strategic prospects for the development of the region in the context of socio-economic reorganizations caused by both external global factors and internal changes and ensure sustainable and safe development of the regions of the Russian Federation.

Key words: economic security, regional development, socio-economic development.

Введение. Сегодня обеспечение экономической безопасности на всех уровнях управления является самой главной задачей. Так, государство, опираясь на текущий уровень экономического развития, разрабатывает новые стратегии по обеспечению экономической безопасности страны. Не так давно, в 2017 году, был представлен Указ Президента РФ от 13 мая 2017 г. № 208 «О Стратегии экономической безопасности Российской Федерации на период до 2030 года», который определяет экономическую безопасность как состояние защищенности национальной экономики от внешних и внутренних угроз, при

котором обеспечиваются экономический суверенитет страны, единство ее экономического пространства и условия для реализации стратегических национальных приоритетов Российской Федерации [1]. Что касается экономической безопасности региона, то под этим понятием можно понимать совокупность условий и факторов, характеризующих состояние защищенности личности, общества, социально-экономической и финансовой системы региона, формируемую органами государственной власти в целях обеспечения устойчивого развития региона и

обеспечения высокого качества жизни населения.

Целью статьи является выявление проблем обеспечения экономической безопасности региона в условиях цифровизации, а также определение направлений работы по их преодолению. Анализ выявил ряд проблем, влияющих на экономическую безопасность регионов, основными из которых являются ресурсные ограничения. В статье делается вывод, что существующие методологические подходы к обеспечению безопасного и устойчивого развития регионов на долгосрочную перспективу утрачивают свою актуальность. Их неспособность интегрировать экономические потребности региональных субъектов с процессами планирования и реализации цифровых проектов может привести к неэффективному внедрению таких технологий, как искусственный интеллект (ИИ), большие данные (Big Data), облачные технологии, интернет вещей (IoT), блокчейн и других.

Особенности и инструменты обеспечения экономической безопасности регионов.

Учитывая особенности проблем обеспечения экономической безопасности, необходимо выбрать инструменты обеспечения экономической безопасности региона, которые принимают во внимание специфику конкретной территории. Инструменты обеспечения экономической безопасности региона представляют собой совокупность способов, с помощью которых возможно осуществлять воздействие на систему с целью ее стабилизации и улучшения определенных ее параметров. Существует множество различных инструментов обеспечения экономической безопасности. Но сегодня основным инструментом является программное финансирование. Этот инструмент включает в себя совокупность узкоспециализированных способов, определяемых для решения каждой конкретной задачи.

Выделим ряд механизмов оценки, являющихся основой для принятия решения о применении инструментов:

- пороговые значения индикаторов;
- индикаторы состояния;
- функциональное преобразование индикаторов;
- обобщенные показатели;
- балльная и рейтинговая оценка;
- мониторинг;

- программное финансирование.

Процесс предварительного анализа, выбора и применения определенного инструмента можно разделить на несколько этапов:

Первый этап – решение ряда исследовательских задач, призванных стать основой для оценки текущего состояния экономической безопасности региона. Например, определение потребностей населения региона, анализ собственных источников дохода региона, определение текущего уровня научно-технического потенциала.

Второй этап – определение совокупности региональных интересов. Конечно, от региона к региону интересы могут существенно отличаться, но можно выделить интересы, присущие любому региону. Например, обеспечение и поддержание достойного уровня жизни населения региона, рациональное использования имеющихся экономических ресурсов, реализация социальной политики.

Третий этап – выявление угроз экономической безопасности исходя из интересов и текущего состояния региона. Под угрозами следует понимать реальную опасность нанесения ущерба экономической системе. Например, рост безработицы, криминализация экономики, спад производства.

Четвертый этап – создание системы пороговых значений и мониторинга индикаторов, выбор которых должен осуществляться для каждого региона индивидуально с учетом всех его важнейших аспектов. Такие аспекты включают в себя, например, уровень развития региона, его ресурсный потенциал, национальные особенности функционирования, численный объем населения. Далее, исходя из сформированного массива данных, определяется вектор развития экономики региона, оптимальное управленческое решение, учитывающее наиболее сильные и перспективные секторы экономики [4]. Затем осуществляется выбор наиболее эффективных и оптимальных инструментов, после чего осуществляется их применение – на данном этапе очень важен непрерывный мониторинг и оперативная корректировка реализации инструментов.

В процессе управления рисками экономической безопасности региона необходимо проводить регулярный мониторинг показателей, анализируя их и учитывая влияние

на поставленные задачи, также необходимо прогнозировать возможные изменения условий развития объекта управления, оценивать возможные варианты решения, выбирая

наиболее эффективные [2]. На рис. 1 представлены 4 основных критерия, характеризующие интересы региона в области экономической безопасности.



Рис. 1. Основные критерии экономической безопасности региона

Выявление угроз экономической безопасности региона и прогнозирование последствий осуществляется с помощью мониторинга и анализа данных. Для мониторинга экономической безопасности целесообразно оперировать пороговыми значениями. Кроме того, необходимо учитывать удаленность индикатора от порогового значения и его динамику. Меньшие значения индикатора означают больший риск реализации угрозы экономической безопасности [3].

Выводы. Согласно выводам исследования, достижение желаемых результатов в области экономической безопасности требует гармонизации федеральных и региональных приоритетов, а также построения системы взаимодействия, основанной на приобретаемых компетенциях и опыте. Экономически безопасное и устойчивое развитие региона должно основываться на выявлении, предотвращении и устранении потенциальных угроз, глубоком анализе причин их возникновения и эволюции. Важным аспектом также является новое качество управления региональной экономикой, способствующее социально-экономическому

развитию, что обеспечивает успешность и эффективность принимаемых решений.

Выбор и применение необходимых инструментов обеспечения экономической безопасности региона представляет собой сложный системный процесс, который крайне важно реализовывать индивидуально для каждого субъекта, избегая стандартизированного подхода. При правильном выборе и эффективном применении антикризисных проектов по улучшению экономической безопасности регионов, проанализировав все факторы внешних и внутренних угроз (рост внешнего долга; нерациональное использование валютных ресурсов для импорта; отсутствие единой региональной политики федерального центра; нарушение системы финансового обеспечения регионов; неэффективная реализация федеральных и региональных экономических проектов; криминализация экономики; снижение уровня жизни населения и др.), влияющие на возникновение социально-экономической угрозы, при использовании всех необходимых критериев для предотвращения кризиса и повышения экономической безопасности региона будет происходить улучшение индикаторов социально-

экономического развития и повышение экономической безопасности регионов Российской Федерации.

Список источников

1. О Стратегии экономической безопасности Российской Федерации на период до 2030 года [Электронный ресурс]: Указ Президента Российской Федерации от 13.05.2017 г. № 208 // Справочная правовая система «КонсультантПлюс». – Режим доступа: <http://www.consultant.ru> (дата обращения: 08.04.2024).
2. Анищенко А.А. Экономическая безопасность регионов России / А.А. Анищенко, И.В. Долматов. – М.: Маркетинг, 2017. – 84 с.
3. Бахтизин А.Р., Бухвальд Е.М., Кольчугина А.В. Выравнивание регионов России: иллюзии программы и реалии экономики // Вестник Института экономики РАН. 2018. №5. С. 75 – 100.
4. Белоусов А.Р. Российская экономика в условиях системного кризиса: состояние и перспективы развития. // Проблемы прогнозирования, № 2, 2016. – С. 19 – 23.
5. Кирсанов А.И. Антикризисное управление. – М.: Инфра – М, 2018. – 330 с.
6. Максимов, М. В. Инструменты обеспечения экономической безопасности региона // Молодой ученый. – 2020. – № 15 (305). – С. 337–338.
7. Родионова Н.В. Антикризисный менеджмент. / Н.В. Родионова. – М.: Юнити – Дана, 2018. – 680 с.
8. Самуэльсон П. Экономика. – М.: НПО Машиностроение, 2016. – т. 1. – С. 332; т. 2. – 415 с.

Информация об авторе

Костенко Светлана Викторовна, ассистент кафедры компьютерных систем и сетей Луганского государственного университета имени Владимира Даля, г. Луганск.
SPIN-код: 2229-0288, *AuthorID:* 1292399
E-mail: curochkina.s@yandex.ru

References

1. On the Strategy of Economic Security of the Russian Federation for the period up to 2030 [Electronic resource]: Decree of the President of the Russian Federation dated 05/13/2017 No. 208 // ConsultantPlus Legal Reference System. – Access mode: <http://www.consultant.ru> (date of reference: 04/08/2024).
2. Anishchenko A.A. Economic security of the regions of Russia / A.A. Anishchenko, I.V. Dolmatov. – M.: Marketing, 2017. – 84 p.
3. Bakhtizin A.R., Bukhvald E.M., Kolchugina A.V. Leveling the regions of Russia: illusions of the program and the realities of the economy // Bulletin of the Institute of Economics of the Russian Academy of Sciences, 2018, No. 5, pp. 75-100.
4. Belousov A.R. The Russian economy in the context of a systemic crisis: current state and development prospects. // Problems of forecasting, No. 2, 2016. pp. 19-23.
5. Kirsanov A.I. Anti-crisis management. Moscow: Infra – M, 2018. 330 p.
6. Maksimov, M. V. Tools for ensuring the economic security of the region // Young scientist. – 2020. – № 15 (305). – Pp. 337-338.
7. Rodionova N.V. Anti-crisis management. / N.V. Rodionova. – M.: Unity - Dana, 2018. – 680 p.
8. Samuelson P. Economics. – M.: NPO Mashinostroyeniye, 2016. – vol. 1. – p. 332; vol. 2. – 415 p.

Статья подана 30.07.2024 года.

Information about the author

Kostenko Svetlana Viktorovna, Assistant Professor at the Department of Computer Systems and Networks Luhansk State University named after Vladimir Dal, Luhansk.
SPIN-код: 2229-0288, *AuthorID:* 1292399
E-mail: curochkina.s@yandex.ru

Для цитирования:

Костенко С. В. Экономическая безопасность регионов России в условиях кризиса // Вестник Луганского государственного университета имени Владимира Даля. – 2024. – № 11(89). – С. 65-68.

For citation:

Kostenko S.V. Economic security of Russian regions in crisis conditions // Vestnik of Lugansk State University named after Vladimir Dahl. – 2024. – № 11 (89). – P. 65-68.

УДК 004.67:533.6.08

АЛГОРИТМ РАСЧЕТА ПРИБОРНОЙ СКОРОСТИ МАЛОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СТРУЙНОГО АВТОГЕНЕРАТОРА НА ЭФФЕКТЕ КОАНДА

Малахова В. В., Малахов О. В., Малахова Я. О.

AN ALGORITHM FOR CALCULATING THE INSTRUMENT SPEED OF A SMALL AIRCRAFT USING A JET AUTOGENERATOR BASED ON THE COANDA EFFECT

Malakhova V. V., Malakhov O. V., Malakhova I. O.

Аннотация. В статье показана возможность увеличения отечественной локализации комплектующих при производстве навигационного оборудования малых летательных аппаратов за счет использования струйных технологий. Использование в качестве первичного преобразователя приборной скорости малого летательного аппарата разработанного устройства, основанного на использовании эффекта Коанда, позволяет при сохранении приемлемых массогабаритных параметров прибора довести локализацию используемых компонентов Российского производства практически до 100%.

Ключевые слова: расчет приборной скорости, эффект Коанда, первичный измерительный преобразователь.

Abstract. The article shows the possibility of increasing the domestic localization of components in the manufacture of navigation equipment for small aircraft through the use of inkjet technologies. The use of a developed device based on the use of the Coand effect as the primary converter of the instrument speed of a small aircraft makes it possible, while maintaining acceptable weight and size parameters of the device, to bring the localization of the Russian-made components used to almost 100%.

Key words: calculation of the instrument speed, Coand effect, primary measuring transducer.

Введение. В современном мире вопросы экономического развития и обеспечения независимости становятся всё более актуальными. В этой связи проблема импортозамещения приобретает особую значимость, поскольку она напрямую связана с укреплением национальной экономики и повышением уровня благосостояния страны.

Прошедшее десятилетие для Российской Федерации ознаменовалось целым перечнем экономических ограничений. Плюс к нему следует добавить и классическое продовольственное эмбарго. Все это в совокупности привело к дефициту ряда товаров, а также к повышению инфляции. В первую очередь последствия кризиса испытали на себе авиастроение, машиностроение, предприятия энергетической и военной

промышленности, лишенные зарубежного оборудования и возможности покупать импортные комплектующие.

В 2014 году наша Страна взяла курс на импортозамещение – замещение импорта товарами, произведёнными внутри России. Во исполнение постановления правительства РФ от 15 апреля 2014 г. №328 «Об утверждении государственной программы Российской Федерации «Развитие промышленности и повышение ее конкурентоспособности» исследование направлено на поиск возможности замены импортных МЭМС датчиков давления отечественными приборами с приемлемыми массогабаритными характеристиками, позволяющими их использование в малых беспилотных летательных аппаратах.

Объектом исследования является импортозамещение – замена критически важной импортной продукции отечественными аналогами.

Предмет исследования – первичный измерительный преобразователь приборной скорости малого летательного аппарата, выполненный на основе использования отечественной элементной базы.

Точное измерение приборной скорости является критически важным аспектом для безопасного пилотирования летательных аппаратов. Приборная скорость отражает фактическую скорость движения самолёта относительно воздушной среды, что позволяет пилотам контролировать и корректировать траекторию полёта, а также избегать опасных ситуаций, таких как потеря управляемости, вызванная неверной оценкой текущих значений приборной скорости и, как следствие, аэродинамическим срывом потока несущих плоскостей летательного аппарата.

Эффект Коанда описывает поведение струи жидкости или газа, протекающей вдоль препятствия в виде прилегающей поверхности. Струя отклоняется от своего первоначального направления движения и буквально «прилипает» к поверхности прилегающей стенки и следует вдоль нее.

Постановка задачи. Рассмотреть возможности использования эффекта Коанда для создания первичных измерительных преобразователей приборной скорости летательного аппарата.

Материалы и методы. В ряде работ рассматривается применение эффекта Коанда в различных приборах и аппаратах. Так, эффект Коанда привлекается для повышения подъемной силы и улучшения управляемости летательных аппаратов [1]. В работе [2] авторы предлагают концепцию создания летательного аппарата, аэродинамика которого основана на использовании эффекта Коанда. Утверждается, что такой аппарат будет наделен свойствами выполнения вертикального взлета, зависания, вертикальной посадки, а также горизонтального полета в широком диапазоне скоростей. Применение эффекта в вихревых трубках рассмотрено в работе [3].

Классический метод измерения приборной скорости полета летательного аппарата (ЛА) V основан на корреляции приборной скорости полета и давления встречного потока воздуха – скоростного напора q :

$$q = \rho_n \frac{V^2}{2},$$

где ρ_n – плотность воздуха.

Учитывая, что скоростной напор воздуха может быть представлен как разность динамического давления набегающего потока воздуха $P_{\text{дин}}$ и статического давления воздуха в окружающей среде $P_{\text{ст}}$, выражение для расчета воздушной скорости полета принимает вид:

$$V = \sqrt{\frac{2q}{\rho_n}} = \sqrt{\frac{2(P_{\text{дин}} - P_{\text{ст}})}{\rho_n}}.$$

В итоге, исходными данными для расчета скоростного напора потока воздуха и воздушной скорости полета являются величины динамического и статического давлений воздуха (рис. 1).

В крупных летательных аппаратах в качестве первичных измерительных преобразователей давления воздуха могут использоваться механические барометры анероидного типа (рис. 2). В малых беспилотных летательных аппаратах применение анероидных барометров затруднено ввиду их достаточно крупных массогабаритных параметров.

В настоящее время в этом сегменте летательных аппаратов применяются микроэлектромеханические (МЭМС) барометры (рис. 3).

Они имеют небольшую массу, малые габариты, однако в настоящее время зачастую производители этих электронных компонентов имеют зарубежную локацию.

Опираясь на результаты исследований влияния угла наклона воздушной струи относительно плоской прилегающей поверхности, приведенные авторами в работе [4], и анализа взаимодействия воздушной струи с препятствием [5], предложена схема струйного автогенератора – первичного измерительного преобразователя приборной скорости летательного аппарата, основанного на использовании эффекта Коанда (рис. 4).

Принцип работы струйного автогенератора основан на охвате струйного логического элемента (рис. 3) цепями положительной обратной связи.

Сборочная 3D модель измерителя приборной скорости представлена на рис. 5.

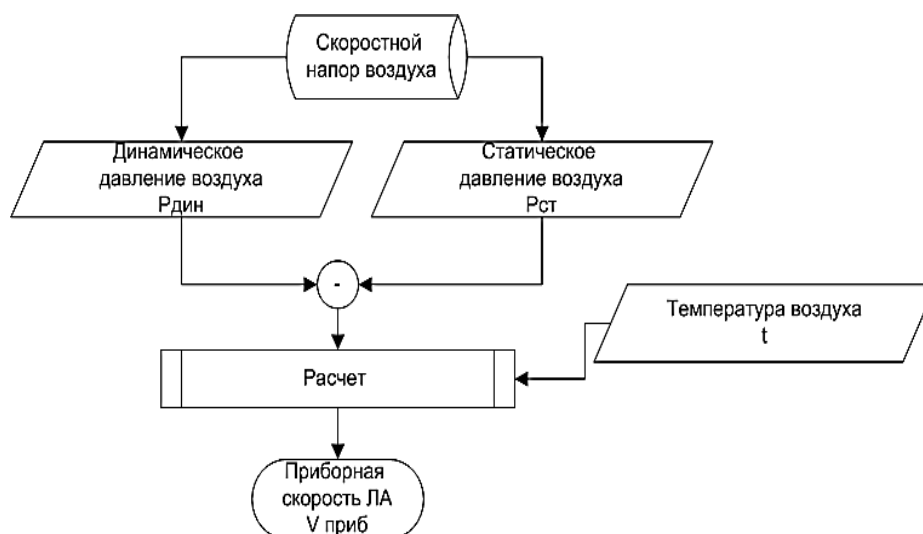


Рис. 1. Алгоритм преобразований физических величин при измерении воздушной скорости через динамическое и статическое давления воздуха

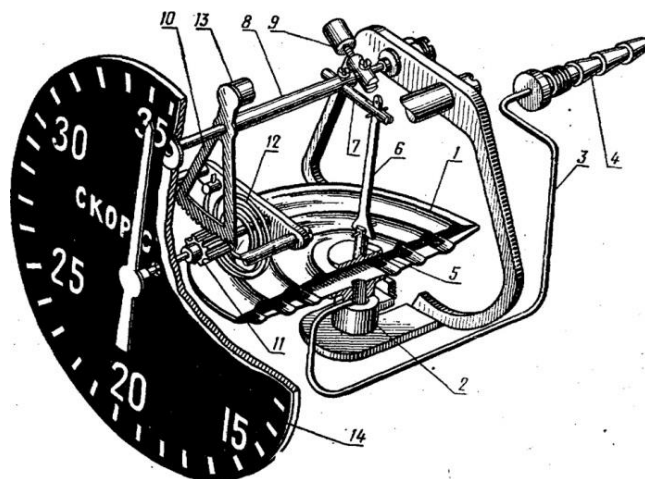


Рис. 2. Измеритель приборной скорости с барометром анероидного типа



Рис. 3. Микроэлектромеханический барометр BMP280

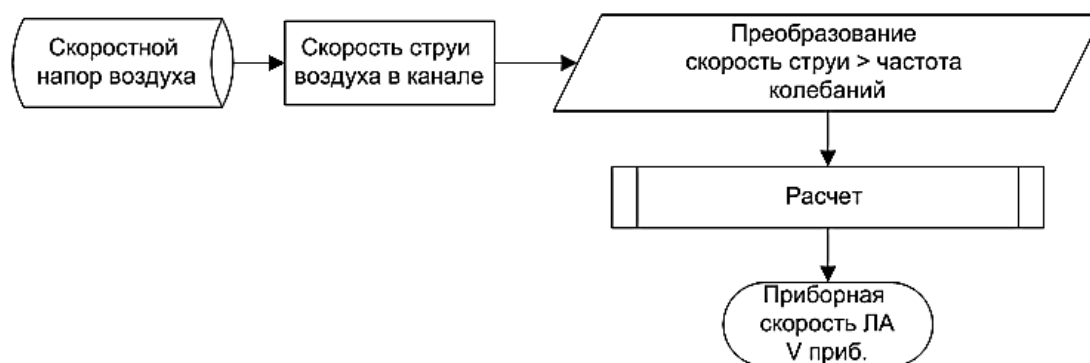


Рис. 4. Алгоритм преобразований физических величин при измерении воздушной скорости с использованием преобразователя, основанного на эффекте Коанда

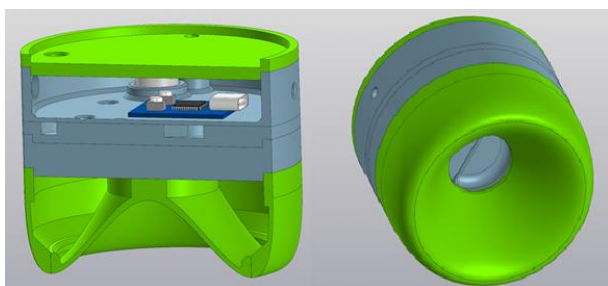


Рис. 5. Сборочная 3D модель приемника
воздушного давления

Частота переключения струйного автогенератора пропорциональна скорости проходящего через него воздушного потока:

$$V = \mu \sqrt{\frac{2(P_{\text{дин}} - P_{\text{ст}})}{\rho}},$$

где μ – коэффициент расхода, определяемый геометрическими параметрами каналов логического элемента; ρ – плотность измеряемой среды (воздуха).

Результаты исследований. В статье показана возможность увеличения отечественной локализации комплектующих при производстве навигационного оборудования малых летательных аппаратов за счет использования струйных технологий.

Выводы. Использование в качестве первичного преобразователя приборной скорости малого летательного аппарата разработанного устройства, основанного на использовании эффекта Коанда, позволяет при сохранении приемлемых массогабаритных параметров прибора довести локализацию используемых компонентов Российского производства практически до 100%.

Список источников

1. Пушинская К. В. Эффект Коанда и некоторые варианты его применения / К. В. Пушинская, А. Ф. Шишкина // Актуальные вопросы в науке и практике: Сборник статей по материалам IV международной научно-практической конференции. В 5-ти частях, Самара, 11 декабря 2017 года. Том Часть 1. – Самара: Общество с ограниченной ответственностью Дендра, 2017. – С. 35-39. – EDN YLGASS.

2. Воронков Ю. С. Летательный аппарат, использующий эффект Коанда / Ю. С. Воронков,

О. Ю. Воронков // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2016. – № 7-5. – С. 744-748. – EDN WFAZUR.

3. Левина Е. Ю. О возможности применения эффекта Коанда в вихревых трубках / Е. Ю. Левина, М. Ю. Левин, С. А. Нагорнов // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. – 2014. – № 8. – С. 57-61. – EDN SAJEPD.

4. Ганич Г. А. Эффект Коанда при выдуве струй из прямоугольных сопел под углом к плоской поверхности / Г. А. Ганич, Н. А. Гущина, Ю. Г. Жулев // Ученые записки ЦАГИ. – 1994. – Т. 25, № 3-4. – С. 121-125. – EDN KYQTMX.

5. Соколова И. Н. Использование эффекта Коанда для уменьшения воздействия струи на преграду / И. Н. Соколова // Ученые записки ЦАГИ. – 1985. – Т. 16, № 3. – С. 118-121. – EDN MWFNHZ.

References

1. Pushinskaya, K. V. The Coanda effect and some variants of its application / K. V. Pushinskaya, A. F. Shishkina // Current issues in science and practice : A collection of articles based on the materials of the IV International scientific and practical conference. In 5 parts, Samara, December 11, 2017. Volume Part 1. Samara: Dendra Limited Liability Company, 2017. pp. 35-39. – EDN YLGASS.

2. Voronkov, Yu.S. An aircraft using the Coanda effect / Yu. S. Voronkov, O. Yu. Voronkov // International Journal of Applied and Fundamental Research. – 2016. – No. 7-5. – pp. 744-748. – EDN WFAZUR.

3. Levina, E. Y. On the possibility of using the Coand effect in vortex tubes / E. Y. Levina, M. Y. Levin, S. A. Nagornov // Modern science: current problems and ways to solve them. – 2014. – No. 8. – pp. 57-61. – EDN SAJEPD.

4. Ganich, G. A. The Coanda effect when blowing jets from rectangular nozzles at an angle to a flat surface / G. A. Ganich, N. A. Guschina, Yu. G. Zhulev // Scientific notes of TsAGI. – 1994. – Vol. 25, No. 3-4. – pp. 121-125. – EDN KYQTMX.

5. Sokolova, I. N. Using the Coanda effect to reduce the impact of a jet on an obstacle / I. N. Sokolova // Scientific notes of TsAGI. – 1985. – Vol. 16, No. 3. – pp. 118-121. – EDN MWFNHZ.

Статья поступила в редакцию 27.09.2024

Информация об авторах

Малахова Виктория Владимировна, кандидат технических наук, доцент кафедры прикладной математики Луганского государственного университета имени Владимира Даля, г. Луганск.
E-mail: malakhova_viktoriya84@mail.ru

Малахов Олег Владимирович, доцент кафедры автоматизации и компьютерно-интегрированных технологий Луганского государственного университета имени Владимира Даля, г. Луганск.
E-mail: oleg_home1@mail.ru

Малахова Яна Олеговна, учащаяся государственного бюджетного образовательного учреждения Луганской Народной Республики «Луганская специализированная школа № 1 имени профессора Льва Михайловича Лоповка», г. Луганск.
E-mail: oleg_home1@mail.ru

Information about the authors

Malakhova Victoria Vladimirovna, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Departments of Applied Mathematics of the Lugansk State University named after Vladimir Dahl.
E-mail: malakhova_viktoriya84@mail.ru

Malakhov Oleg Vladimirovich, Associate Professor of the Department of Automation and Computer-Integrated Technologies of the Lugansk State University named after Vladimir Dahl, Lugansk.
E-mail: oleg_home1@mail.ru

Malakhova Iana Olegovna, a student of the state budgetary educational institution of the Luhansk People's Republic "Lugansk Specialized School № 1 named after Professor Lev Mikhailovich Lopovok", Lugansk.
E-mail: oleg_home1@mail.ru

Для цитирования:

Малахова В. В., Малахов О. В., Малахова Я. О. Алгоритм расчета приборной скорости малого летательного аппарата с использованием струйного автогенератора на эффекте коанда // Вестник Луганского государственного университета имени Владимира Даля. – 2024. – № 11(89). – С. 69-73.

For citation:

Malakhova V. V., Malakhov O. V., Malakhova I. O. An algorithm for calculating the instrument speed of a small aircraft using a jet autogenerator based on the coanda effect // Vestnik of Lugansk State University named after Vladimir Dahl. – 2024. – № 11 (89). – P. 69-73.

УДК 621.833

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ АРОЧНОЙ ПЕРЕДАЧИ СМЕШАННОГО ЗАЦЕПЛЕНИЯ С ТРАДИЦИОННОЙ ПО КОМПЛЕКСНЫМ ПОКАЗАТЕЛЯМ КАЧЕСТВА

Малый Д. В., Таращанский М. Т., Чалая Е. Ю.

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE ARCHED TRANSMISSION OF MIXED ENGAGEMENT WITH THE TRADITIONAL ONE ACCORDING TO COMPLEX QUALITY INDICATORS

Maliy D. V., Tarashchanskii M. T., Chalaya E. U.

Аннотация. В рамках данного исследования для цилиндрических арочных зубчатых передач смешанного зацепления рассмотрена система комплексных критериев работоспособности, необходимых для оценки нагрузочной способности передач зацеплением. Обоснование преимущества для передач данного класса над традиционными проведено в виде численного сравнительного анализа синтезированной арочной передачи с несимметричным исходным контуром с аналогичной по параметрам квазиэвольвентной передачей по всем комплексным критериям работоспособности. Результаты численного анализа представлены графиками, диаграммами.

Ключевые слова: арочная зубчатая передача, комплексные критерии работоспособности, смешанная система зацепления, математическое моделирование, численный сравнительный анализ, исходный контур.

Abstract. Within the framework of this study, for cylindrical arched gears of mixed gearing, a system of complex performance criteria necessary to assess the load capacity of gearing gears is considered. The justification of the advantage for transmissions of this class over traditional ones was carried out in the form of a numerical comparative analysis of a synthesized arched transmission with an asymmetric initial contour with a quasi-equivalent transmission in all complex performance criteria. The results of the numerical analysis are represented by graphs and diagrams.

Key words: arched gear train, complex performance criteria, mixed gearing system, mathematical modeling, numerical comparative analysis, initial contour.

Введение. Современный этап развития машиностроения характеризуется ростом скоростей, нагрузок, энергоемкости и ресурса машин, что предъявляет повышенные требования к ресурсу и габаритам входящих в их состав зубчатых передач. Поэтому задача повышения качества зубчатых приводов не теряет своей актуальности.

Качество цилиндрической зубчатой передачи, в том числе с арочной формой зуба, можно оценить группой комплексных показателей, которая включает: критерии прочности, критерий износа, температурный критерий заедания, критерий толщины

масляного слоя, критерий потерь в зацеплении, критерий удельной работы сил трения.

Основной критерий работоспособности зубчатых передач – контактная прочность рабочих поверхностей зубьев – зависит от приведенной кривизны рабочих поверхностей. Уменьшение приведенной кривизны ведет к снижению интенсивности износа зубьев, повышению толщины масляного слоя в зоне контакта рабочих поверхностей, уменьшению потерь в зацеплении и теплонапряженности в зоне контакта.

Актуальность исследования. Решению задачи совершенствования зубчатых передач из

условия контактной прочности выбором рациональной геометрии рабочих поверхностей зубьев посвящено значительное количество работ специалистов в области исследования передач зацеплением [2, 6]. При этом предлагаются различные способы уменьшения приведенной кривизны рабочих поверхностей зубьев. В работе [6] предложен метод синтеза исходного контура режущего инструмента по заданной постоянной величине приведенной кривизны рабочих поверхностей зубьев. Синтез сводится к решению дифференциального уравнения, связывающего геометрические параметры передачи с приведенной кривизной. Однако получаемые при этом передачи имеют высокую чувствительность к погрешностям изготовления и монтажа по сравнению с традиционными.

Устранить данный недостаток можно применением смешанного зацепления, в котором головка и ножка зуба образованы различными кривыми, полученными на основе синтеза по заданному значению приведенной кривизны.

Таким образом, исследования, направленные на создание альтернативных видов зацепления, новой геометрии, являются перспективными и отвечают требованиям современного машиностроения.

Цель статьи – выполнить численно сравнительный анализ арочных передач смешанного зацепления и аналогичных традиционных передач по комплексным критериям работоспособности.

Изложение основного материала. В рамках различных исследований [1, 2, 3, 7] авторами статьи проведены теоретические и экспериментальные исследования цилиндрических арочных передач смешанного зацепления. При построении обобщенной математической модели синтеза геометрии арочных передач с улучшенными свойствами [1, 3] огромную роль играет конфигурация исходного производящего контура (рис. 1).

Исходный контур (ИК), описываемый дифференцируемыми функциями f_1, f_2 (для головки зуба) и Φ_1, Φ_2 (для ножки зуба), определяет геометрию режущего инструмента [7]. Эти функции могут быть определены синтезом по обоснованно выбранному критерию (приведенная кривизна), решая соответствующие дифференциальные уравнения [3, 5], связывающие эти функции с

заданными значениями критерия работоспособности.

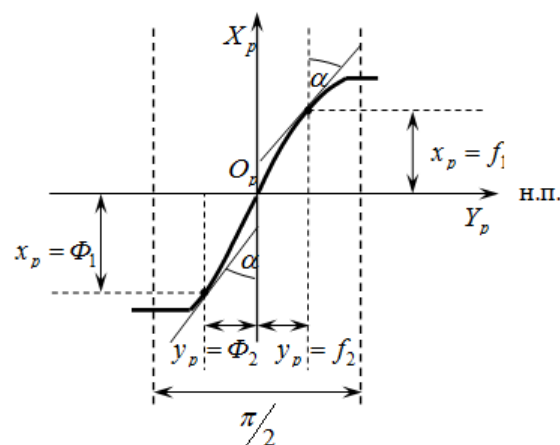


Рис. 1. Исходный инструментальный контур для арочной передачи смешанного зацепления

Геометрия ИК (рис. 1) является также основой для решения вопросов определения качества передач зацеплением [3, 4]. Работоспособность зубчатых передач традиционно оценивается двумя группами критериев: геометрокинематических и комплексных [2, 3, 4].

Первая группа [2, 4] характеризует локально-кинематические и гидродинамические явления в зоне контакта, нагрузочную способность передач в целом. К ним относятся: относительная скорость скольжения $V_{ск}$; суммарная скорость V_{Σ} перемещения точек контакта, которая определяется из скоростей качения сопряженных поверхностей зубьев шестерни и колеса $V_{\Sigma} = V_1 + V_2$; приведенная кривизна $\bar{\chi}_{np}$; удельные скольжения η_1 и η_2 шестерни и колеса; угол ν между вектором относительной скорости и направлением контактной линии.

Формулы для этих критериев получены для передач в обобщенных параметрах [4, 6], в частности для арочных передач смешанного зацепления с круговой продольной линией зуба [3], для арочных передач с зацеплением Новикова [2] при построении соответствующих математических моделей.

Вторая группа критериев включает:

1. **Температурный критерий заедания K_3 .**

Этот комплексный критерий характеризует мгновенное повышение температуры в зоне контакта. При его повышении теплостойкость рабочих поверхностей зубьев понижается, что

отрицательно сказывается на стабильной работе зубчатой пары.

Для сравнительной оценки различных передач используем формулы [4, 6] (для головки и ножки зуба соответственно):

$$\begin{aligned} K_{3f} &= 1,84 f q_n^{0,15} \frac{V_{ckf}}{\left[\sqrt{V_{1f}} - \sqrt{V_{2f}} \right]} \chi_{npf}^{0,25}, \\ K_{3\phi} &= 1,84 f q_n^{0,15} \frac{V_{ck\phi}}{\left[\sqrt{V_{1\phi}} - \sqrt{V_{2\phi}} \right]} \chi_{np\phi}^{0,25}. \end{aligned} \quad (1)$$

где кроме скоростей, описанных выше, f – коэффициент трения скольжения в зоне контакта зубьев [4, 6] (для головки и ножки соответственно):

$$\begin{aligned} f_f &= \frac{0,09 q_{nf}^{0,1} \left[10 + \lg \left(\frac{HB \cdot R_a \cdot \chi_{npf}}{E_{np}} \right) \right] \chi_{npf}^{0,25}}{v_{\kappa}^{0,07} V_{\Sigma f}^{0,1} V_f^{0,35}}, \\ f_{\phi} &= \frac{0,09 q_{n\phi}^{0,1} \left[10 + \lg \left(\frac{HB \cdot R_a \cdot \chi_{np\phi}}{E_{np}} \right) \right] \chi_{np\phi}^{0,25}}{v_{\kappa}^{0,07} V_{\Sigma \phi}^{0,1} V_{\phi}^{0,35}}, \end{aligned}$$

здесь q_{nf} , $q_{n\phi}$ – нагрузка на единицу длины контактной линии; HB – твердость менее твердого из контактирующих зубьев; R_a – шероховатость более твердого из контактирующих зубьев; E_{np} – приведенный модуль упругости материалов зацепляющихся колес; v_{κ} – вязкость масла; V_f , V_{ϕ} – проекция скорости скольжения на перпендикуляр к линии контакта зубьев, равные $V_f = V_{ckf} \sin \nu_f$, $V_{\phi} = V_{ck\phi} \sin \nu_{\phi}$.

Нагрузка q_n при постоянном значении контактного напряжения на всей длине мгновенных контактных линий (для головки и ножки соответственно):

$$\begin{aligned} q_{nf} &= \frac{T_{1f}}{\chi_{npf} R_1 \cdot \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \frac{\sqrt{E_i}}{\chi_{npf}} \cdot \frac{f'_1 \cos \beta}{n_f} d\lambda}, \\ q_{n\phi} &= \frac{T_{1\phi}}{\chi_{np\phi} R_1 \cdot \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \frac{\sqrt{E_i}}{\chi_{np\phi}} \cdot \frac{\Phi'_1 \cos \beta}{n_{\phi}} d\lambda}. \end{aligned}$$

2. Критерий износа рабочих поверхностей $h_{изи}$.

Следствием силового взаимодействия поверхностей зубьев при их относительном скольжении является износ. Для улучшенных передач этот критерий должен быть как можно меньше. Оценить его можно при сравнительной оценке различных передач соответствующим критерием [4, 6]:

$$h_{изи}^* = \sigma_H f^{t_y} \sqrt{\frac{q_n}{\chi_{np}}} |\eta_i|. \quad (2)$$

3. Толщина масляного слоя h_{mc} .

При сравнительной оценке различных передач будем использовать относительное значение критерия толщины масляного слоя в виде [4, 6]:

$$h_{mc}^* = \frac{h_{mc}}{3,17 \mu_0^{0,75} \alpha^{0,6}} = V_{\Sigma}^{0,75} \chi_{np}^{-0,4} q_n^{-0,15} \quad (3)$$

Чем больше этот критерий, тем лучше условия контактирования.

4. Удельная работа сил трения dA_{mp1} и dA_{mp2} .

Чем больше величина этого критерия на участке контактной линии единичной длины, тем выше теплонапряженность рабочих поверхностей зубьев, что в зацеплении может привести к негативным последствиям. Удельная работа сил трения определяется формулами [4, 6] (для головки и ножки соответственно):

$$\begin{aligned} dA_{mpfi} &= q_{nf} f |\eta_{if}|, \\ dA_{mp\phi i} &= q_{n\phi} f |\eta_{i\phi}|. \end{aligned} \quad (4)$$

5. Коэффициент потерь в зацеплении ψ_3 .

Это – один из самых приоритетных критериев при оценке работоспособности и качества зубчатых передач. Для передач любого класса он должен быть как можно меньше. Коэффициент потерь на трении в зацеплении при $T_1 = const$ равен [4, 6] (для головки и ножки зуба соответственно):

$$\psi_3 = \frac{z_1 A_T}{2\pi T_1}, \quad (5)$$

где z_1 – число зубьев шестерни; A_T – работа сил трения:

$$A_T = \sum_{j=1}^n A_{Tj} = \sum_{j=1}^n \int_{\varphi_{1j}}^{\varphi_{2j}} \frac{\Delta P}{\omega_1} d\varphi,$$

где $\varphi_{1j}, \varphi_{2j}$ – углы поворота шестерни, соответствующие началу и концу фазы многопарного зацепления; ΔP – мощность сил трения на мгновенных контактных линиях при $\varphi_1 = \text{const}$.

Опираясь на систему зависимостей (1)-(5) для комплексных критериев работоспособности, в рамках данного

исследования выполнен сравнительный численный анализ арочных зубчатых передач: квазиэвольвентной передачи (в качестве традиционной) и арочной зубчатая передачи смешанного зацепления (в качестве альтернативной), полученной в результате синтеза геометрии ИК по заданному значению критерия синтеза (приведенной кривизне) путем решения соответствующего дифференциального уравнения с учетом необходимых ограничений. Значения функций f_1, f_2 и Φ_1, Φ_2 , определяющих конфигурацию ИК (для головки и ножки зуба соответственно), вынесены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты синтеза несимметричного ИК			
Головка зуба		Ножка зуба	
f_1	f_2	Φ_1	Φ_2
1	0,27229	-1	-0,38471
0,9	0,23606	-0,9	-0,32839
0,8	0,2018	-0,8	-0,27507
0,7	0,16952	-0,7	-0,22498
0,6	0,13924	-0,6	-0,17837
0,5	0,11096	-0,5	-0,13558
0,4	0,08469	-0,4	-0,09704
0,3	0,06045	-0,3	-0,06336
0,2	0,03825	-0,2	-0,03539
0,1	0,0181	-0,1	-0,01446
0,05	0,00859	-0,005	-0,007
0	0	0	0

Результаты численного сравнительного анализа. Численный анализ проводился по всем рассмотренным комплексным критериям работоспособности (1)-(5). Геометрические параметры, материал, термическая обработка всех анализируемых передач одинаковые. Результаты анализа представлены ниже графиками, на которых по вертикальной оси расположены значения аргументов f_1, Φ_1 , по горизонтальной – значения анализируемых комплексных критериев. При построении графиков учитывалось поле зацепления при фиксированных значениях угла φ_1 поворота шестерни, значения которого указаны в градусах рядом с соответствующими линиями. Численное теоретическое исследование было проведено для передаточного числа $u = 5$.

На всех представленных ниже рисунках: **а** – для квазиэвольвентной передачи, **б** – для синтезированной передачи (несимметричный

ИК).

Из анализа значений комплексных критериев следует:

1. Значения температурного критерия заедания K_3 (1) в зоне контакта без учета многопарности зацепления представлены на графиках (рис. 2), из анализа которых следует, что наибольшее значение температурного критерия заедания имеет квазиэвольвентная арочная передача.

Численный сравнительный анализ показал, что синтезированная арочная передача смешанного типа имеет в крайних точках поля зацепления значения критерия K_3 на головке зуба меньше в 2,8...5,4 раза, на ножке – в 1,5...4,3 раза, чем квазиэвольвентная передача, что положительно сказывается на уровне теплостойкости рабочих поверхностей зубьев и улучшает условия контактирования в целом.

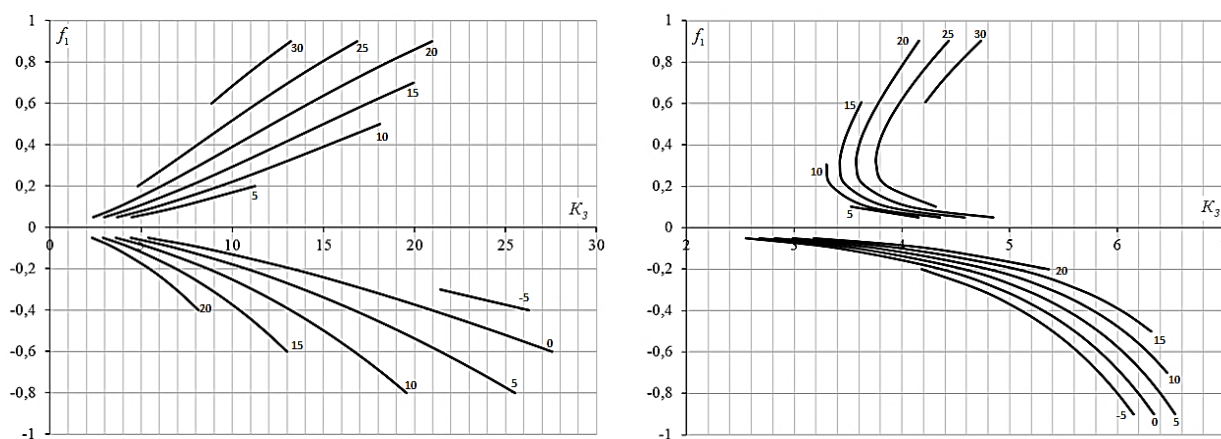


Рис. 2. Температурный критерий заедания

2. Изменение параметра износа $h_{изi}$ (2) по мгновенным контактными линиям для шестерни ($i = 1$) и колеса ($i = 2$) представлены соответственно на графиках (рис. 3, рис. 4), откуда видно, что наибольшие значения износа наблюдаются в зацеплении квазиэвольвентной передачи, наименьшие — в зацеплении синтезированной передачи.

Из анализа полученных результатов следует, что в крайних точках поля зацепления критерий износа шестерни (рис. 3) для синтезированной передачи меньше в 1,4 раза на головке, и в 1,3...3,4 раза на ножке зуба, чем для квазиэвольвентной передачи при тех же углах поворота; критерий износа колеса (рис. 4) для синтезированной передачи меньше в 2,5...4,6 раза на головке, и в 1,9...3 раза на ножке зуба, чем для квазиэвольвентной передачи при аналогичных условиях.

Это свидетельствует о том, что предложенная геометрия ИК более предпочтительна в отношении износа активных поверхностей зубьев.

3. Значения критерия толщины масляного слоя (3) по мгновенным контактными линиям представлены на графиках (рис. 5), из анализа которых следует, что наименьшее значение этого критерия на краях поля зацепления имеет квазиэвольвентная передача.

Для синтезированной арочной передачи этот критерий больше, чем для

квазиэвольвентной в 1,1...2,5 раза на головке зуба, и в 2,1...4,4 раза на его ножке, а значит лучше условия образования масляного клина.

4. Значения показателей и удельной работы сил трения (4) на мгновенных контактных линиях представлены соответственно на графиках (рис. 6, рис. 7) для зубьев шестерни и колеса.

Из анализа полученных данных следует, что при увеличении угла поворота шестерни в зацеплении синтезированной арочной передачи удельная работа сил трения (рис. 6) меньше в 1,1...1,4 раза на головке зуба, в 1,1...3,4 раза на его ножке, чем в зацеплении квазиэвольвентной передачи при тех же значениях угла поворота; критерий (рис. 7) меньше в 1,1...1,4 раза на головке зуба, в 1,3...2,3 раза на его ножке.

5. Зависимость коэффициента потерь на трении в зацеплении от вида исходного контура представлена на диаграмме (рис. 8). Кроме арочных передач для сравнения взята прямозубая эвольвентная передача.

Потери в зацеплении синтезированной арочной передачи в 1,3...1,5 раза меньше, чем в зацеплении традиционных передач. Поэтому, применение предложенной геометрии исходного контура уменьшит потери на трении, а значит, существенно улучшит эксплуатационные характеристики арочной передачи.

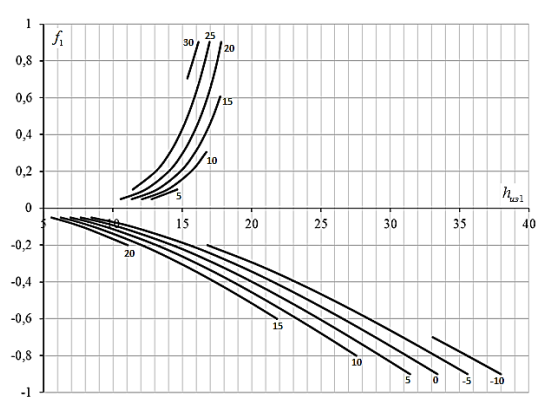
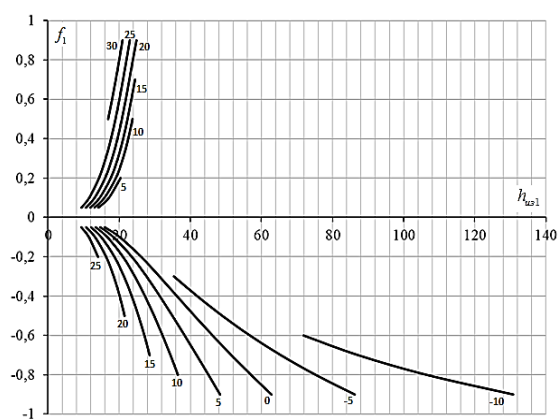


Рис. 3. Критерий износа зубьев шестерни

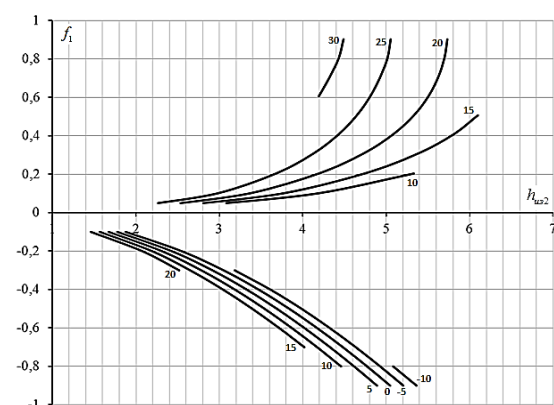
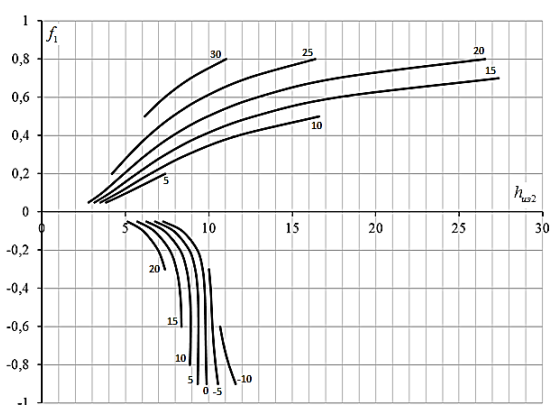


Рис. 4. Критерий износа зубьев колеса

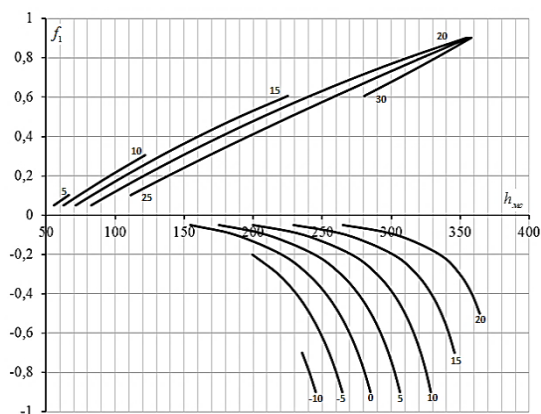
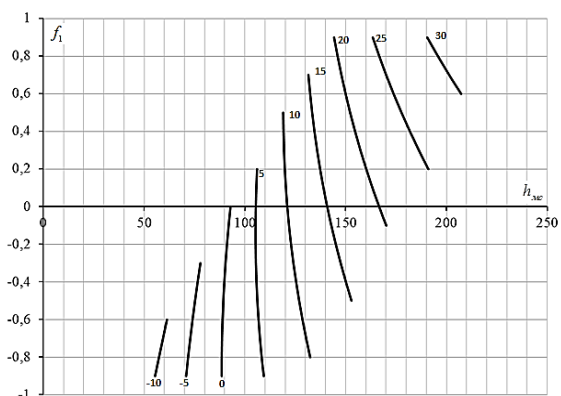


Рис. 5. Критерий толщины масляного слоя

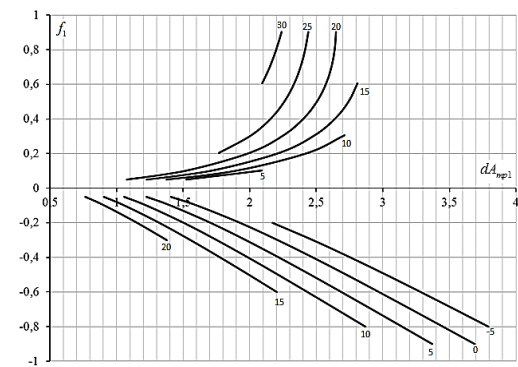
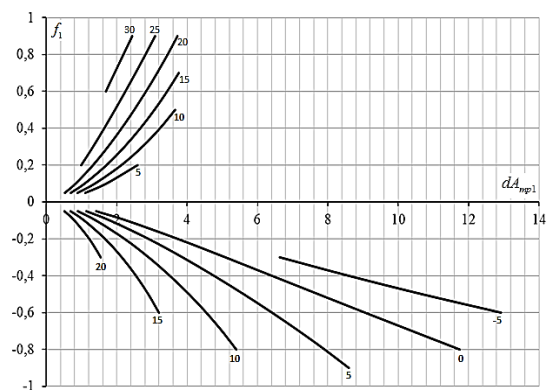


Рис. 6. Удельная работа сил трения на зубьях шестерни

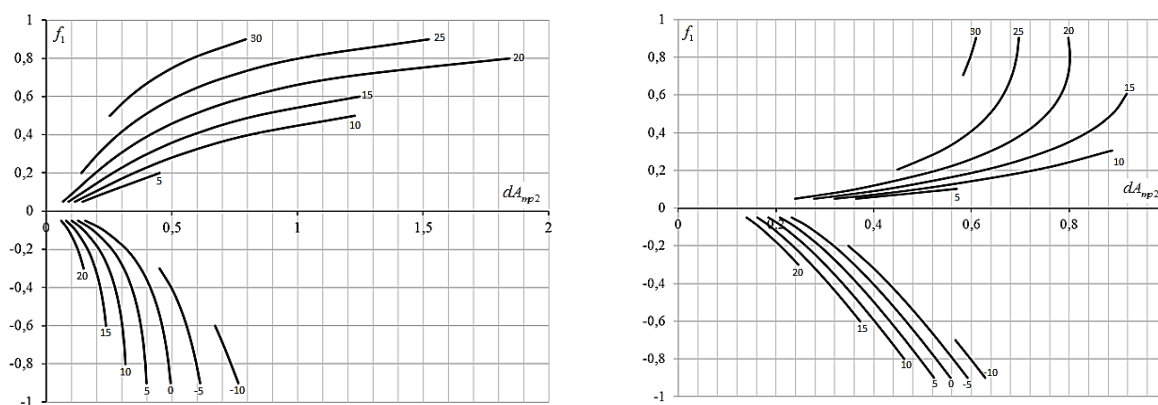


Рис. 7. Удельная работа сил трения на зубьях колеса

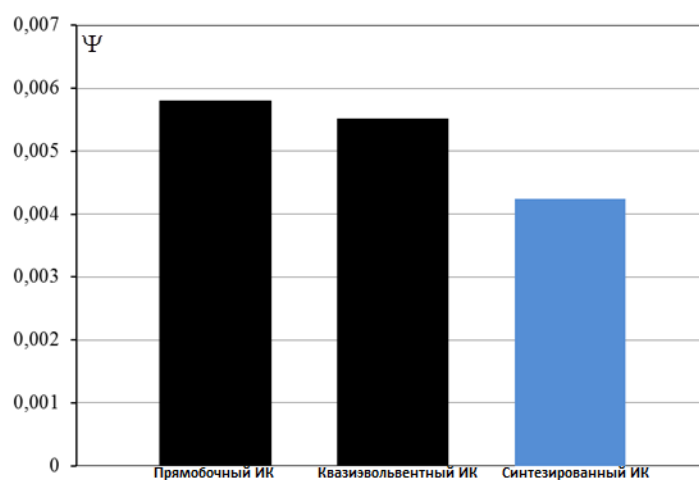


Рис. 8. Критерий потерь в зацеплении

Выводы:

1. Получены расчетные критерии, связывающие конкретную эксплуатационную характеристику арочной передачи смешанного зацепления с геометрией контактирующих поверхностей.

2. Выполнено сравнительное исследование арочных зубчатых передач (традиционных и альтернативных) по рассмотренной системе комплексных критериев качества.

3. Проведенный численный анализ показал, что арочные передачи с синтезированным исходным контуром превосходят традиционные передачи по нагрузочной способности на 20-25%; наблюдается уменьшение потерь на трении, а значит, существенно улучшают эксплуатационные характеристики зубчатой передачи.

Список источников

1. Чалая Е.Ю., Краснянская А.В. Особенности математического моделирования сложных технических систем // Материалы IX международной научно-практической интернет-

конференции «Современные тенденции развития математики и ее прикладные аспекты – 2020», 29 мая 2020 года. – Донецк, 2020. – С. 45-48.

2. Малый Д.В. Повышение технического уровня арочных цилиндрических передач с зацеплением Новикова многокритериальным геометрокинематическим синтезом: дисс. ... канд. техн. наук: 50.02.02 / Д.В. Малый. – Луганск, 2004. – 180 с.

3. Чалая Е.Ю. Арочные цилиндрические зубчатые передачи смешанного зацепления с улучшенными критериями работоспособности // Вестник ЛНУ им. В. Даля. – Луганск, 2017. – №1(3), ч.1. – С. 92-97.

4. Шишов В.П., Ткач П.Н., Чалая Е.Ю., Журавлева Т.Е. Геометро-кинематические показатели работоспособности цилиндрических арочных передач смешанного зацепления. Вісник СЛУ ім. В. Даля. – №12 (183), ч.2 – Луганск, 2012. – С. 306-315.

5. Шишов В.П., Ткач П.Н., Чалая Е.Ю., Журавлева Т.Е. Дифференциальные уравнения для синтеза геометрии арочных зубчатых передач смешанного зацепления // Вестник НТУ «ХПИ». Серия: Машиноведение и САПР. – Харьков, 2013. – №41. – С. 181-189.

6. Шишов В.П., Носко П.Л., Ревякина О.А. Цилиндрические передачи с арочными зубьями (теория, анализ, синтез): Монография. – Луганск: Изд-во ВНУ им. В. Даля, 2004. – 336 с.

7. Таращанский М.Т., Малий Д.В., Чалая Е.Ю. Методика проведения экспериментальных исследований цилиндрических арочных зубчатых передач // Вестник ЛГУ им. В. Даля. – Луганск, 2020. – №11(41). – С. 156-159.

References

1. Chalaya E.U., Krasnyanskaya A.V. Osobennosti matematicheskogo modelirovaniya slozhnykh tekhnicheskikh sistem // Materialy IX mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy internet-konferencii «Sovremennye tendencii razvitiya matematiki i ee prikladnye aspekty – 2020», 29 maya 2020 goda. – Doneck, 2020. – S. 45-48.

2. Malyj D.V. Povyshenie tekhnicheskogo urovnya arochnykh cilindricheskikh peredach s zacepleniem Novikova mnogokriterial'nym geometrokinematischeskim sintezom: diss. ... kand. tekhn. nauk: 50.02.02 / D.V. Malyj. – Lugansk, 2004. – 180 s.

3. Chalaya E.U. Arochnye cilindricheskie zubchatye peredachi smeshannogo zacepleniya s

uluchshennymi kriteriyami rabotosposobnosti // Vestnik LNU im. V. Dalya. – Lugansk, 2017. – №1(3), ch.1. – S. 92-97.

4. SHishov V.P., Tkach P.N., Chalaya E.U., ZHuravleva T.E. Geometro-kinematischeskie pokazateli rabotosposobnosti cilindricheskikh arochnykh peredach smeshannogo zacepleniya. Visnik SNU im. V. Dalya. – №12 (183), ch.2 – Lugansk, 2012. – S. 306-315.

5. SHishov V.P., Tkach P.N., Chalaya E.U., ZHuravleva T.E. Differencial'nye uravneniya dlya sinteza geometrii arochnykh zubchatykh peredach smeshannogo zacepleniya // Vestnik NTU «HPI». Seriya: Mashinovedenie i SAPR. – Har'kov, 2013. – №41. – S. 181-189.

6. SHishov V.P., Nosko P.L., Revyakina O.A. Cilindricheskie peredachi s arochnymi zub'yami (teoriya, analiz, sintez): Monografiya. – Lugansk: Izd-vo VNU im. V. Dalya, 2004. – 336 s.

7. Tarashchanskij M.T., Malyj D.V., Chalaya E.U. Metodika provedeniya eksperimental'nykh issledovaniy cilindricheskikh arochnykh zubchatykh peredach // Vestnik LGU im. V. Dalya. – Lugansk, 2020. – №11(41). – S. 156-159.

Статья поступила в редакцию 21.10.2024

Информация об авторах

Малий Дмитрий Вячеславович, к.т.н., доцент кафедры «Прикладная математика» Луганского государственного университета имени Владимира Даля
E-mail: dmitriy.malyy@gmail.com

Таращанский Марк Танкумович, к.т.н., профессор кафедры «Прикладная математика» Луганского государственного университета имени Владимира Даля.
E-mail: mark.tarashchanskii@gmail.com

Чалая Елена Юрьевна, к.т.н., доцент кафедры «Прикладная математика» Луганского государственного университета имени Владимира Даля.
E-mail: elena_chalaya@mail.ru

Information about the authors

Maliy Dmitriy, candidate of Sciences, a docent of the Chair «Applied mathematics» of the Lugansk State University named after Vladimir Dahl.
E-mail: dmitriy.malyy@gmail.com

Tarashchanskii Mark, candidate of Sciences, a Professor of the Chair «Applied mathematics», of the Lugansk State University named after Vladimir Dahl.
E-mail: mark.tarashchanskii@gmail.com

Chalaya Elena, candidate of Sciences, a docent of the Chair «Applied mathematics» of the Lugansk State University named after Vladimir Dahl.
E-mail: elena_chalaya@mail.ru

Для цитирования:

Малий Д. В., Таращанский М. Т., Чалая Е. Ю. Сравнительный анализ арочной передачи смешанного зацепления с традиционной по комплексным показателям качества // Вестник Луганского государственного университета имени Владимира Даля. – 2024. – № 11(89). – С. 74-81.

For citation:

Maliy D. V., Tarashchanskii M. T., Chalaya E. U. Comparative analysis of the arched transmission of mixed engagement with the traditional one according to complex quality indicators // Vestnik of Lugansk State University named after Vladimir Dahl. – 2024. – № 11(89). – P. 74-81.

УДК 621.22: 621.694

ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИКИ ПРОТОЧНОЙ ЧАСТИ РАЗГРУЗОЧНОГО УСТРОЙСТВА ВЫХОДНОГО КАНАЛА ЭЛЕКТРОПНЕВМАТИЧЕСКОГО КЛАПАНА СОЛЕНОИДНОГО ТИПА

Мальцев Я. И., Мальцева М. О.

STUDY OF THE HYDRODYNAMICS OF THE FLOW PART OF THE UNLOADING DEVICE OF THE OUTLET CHANNEL OF AN ELECTROPNEUMATIC SOLENOID VALVE

Maltsev Y. I., Maltseva M. O.

Аннотация. Приведены результаты математического моделирования гидродинамики проточной части разгрузочного устройства и выходного канала электропневматического клапана соленоидного типа с выходным каналом в форме щелевого диффузора на базе математической модели трехмерного турбулентного течения, основанной на трехмерных уравнениях движения несжимаемой жидкости в форме Рейнольдса, уравнении неразрывности и SST - модели турбулентности Ментера, начальных и граничных условий. Проведены картины течения в каналах и полостях разгрузочного устройства и проточной части выходного канала клапана в виде щелевого диффузора. Проведены расчеты динамических свойств электропневматического клапана с разгрузкой и без. Приведены расчеты контактных напряжений в зоне контакта запорного элемента и седла клапана.

Ключевые слова: электропневматический клапан, щелевой диффузор, геометрические параметры, математическая модель течения, уравнение Рейнольдса, SST - модель турбулентности, коэффициент расхода, разгрузка сердечника, уравнения равновесия, уравнения расхода, контактные напряжения.

Abstract. The results of mathematical modeling of the hydrodynamics of the flow part of the unloading device and the output channel of a solenoid-type electropneumatic valve with an output channel in the form of a slit diffuser are presented on the basis of a mathematical model of three-dimensional turbulent flow based on three-dimensional equations of motion of incompressible fluid in the Reynolds form, the continuity equation and the SST model Menter turbulence, initial and boundary conditions. Flow patterns in the channels and cavities of the discharge device and the flow part of the valve outlet channel in the form of a slit diffuser are carried out. Calculations of the dynamic properties of an electropneumatic valve with and without unloading have been performed. Calculations of contact stresses in the contact zone of the shut-off element and valve seat are given.

Key words: electro-pneumatic valve, slotted diffuser, geometric parameters, mathematical model of flow, Reynolds equation, SST - turbulence model, flow coefficient, core unloading, balance equations, flow equations, contact tensions.

Введение. Экономическое благосостояние Российской Федерации неразрывно связано с развитием и модернизацией ее промышленного сектора. В условиях глобальной конкуренции, повышение конкурентоспособности отечественной промышленности является ключевой задачей, требующей внедрения передовых технологий и автоматизированных систем. Важнейшим направлением является существенное увеличение производства и

внедрение систем машин и оборудования, автоматических манипуляторов с программным управлением, позволяющих не только повысить производительность, но и исключить применение ручного, малоквалифицированного и монотонного труда, особенно в тяжелых, опасных и вредных для здоровья человека условиях.

Управление потоками жидкостей и газов представляет собой критически важный

технологический процесс, лежащий в основе функционирования множества технических систем в различных отраслях экономики, от энергетики и химической промышленности до транспорта, сельского хозяйства и жилищно-коммунального хозяйства. Эффективное и надежное управление этими потоками напрямую влияет на производительность, безопасность и энергоэффективность соответствующих систем. В связи с этим, совершенствование средств и систем управления потоками, повышение их характеристик надежности, долговечности и точности, является необходимым условием для дальнейшего научно-технического прогресса и укрепления промышленного потенциала страны.

Традиционные механические устройства управления потоками, такие как задвижки, клапаны, дроссели и шиберы, широко используются в промышленности. Однако, их применение в условиях высоких температур, давлений, вибраций, а также при наличии абразивных частиц в рабочих средах, приводит к интенсивному износу и снижению эксплуатационной надежности. Совершенствование этих устройств традиционно сводилось к изменению геометрии проточной части, применению новых материалов и оптимизации конструкции запорных органов.

В этой связи, разработка и внедрение альтернативных, более надежных и эффективных решений, представляется перспективным направлением. Электропневматические клапаны (ЭПК) обладают рядом преимуществ, таких как универсальность, относительно невысокая стоимость закупки и эксплуатации, простота конструкции и высокая надежность, что делает их привлекательными для широкого спектра промышленных применений. ЭПК позволяют реализовать сложные алгоритмы управления потоками с высокой точностью и скоростью, обеспечивая оптимальное функционирование технологических процессов. Применение электромеханического клапана мощности в промышленности позволяет решать важные

задачи, что обеспечивает создание современных предприятий с высокой производительностью и культурой производства, выпускающих продукцию широкого ассортимента и отличного качества.

Таким образом, совершенствование гидравлических характеристик электропневматических клапанов (ЭПК) является актуальной научно-технической задачей, решение которой позволит повысить надежность, эффективность и точность основанных на них устройств и систем управления мощными потоками жидкостей и газов, функционирующих в неблагоприятных условиях эксплуатации, способствуя тем самым развитию современной и конкурентоспособной промышленности Российской Федерации.

Изложение основных материалов.

Исследования последних лет [3 – 5] показали, что наиболее предпочтительной моделью, адекватно описывающей течение в проточных частях электропневматического клапана с диффузорным выходом, является система из трехмерных уравнений Рейнольдса для несжимаемой жидкости [2, 6], уравнение неразрывности и уравнений SST модели турбулентности переноса сдвиговых напряжений - предложенной Ментером [1].

$$\frac{\partial v_i}{\partial t} + v_j \frac{\partial v_i}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x_i} + F_i + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[(v + v_t) \frac{\partial v_i}{\partial x_j} \right];$$

где v_i – проекции осредненной составляющей вектора скорости на оси координат;

F_i – проекции вектора массовых сил на оси координат;

ρ – плотность среды;

p – статическое давление.

Уравнение неразрывности:

$$\frac{\partial v_i}{\partial x_i} = 0.$$

Уравнения переноса кинетической энергии k турбулентности и удельной диссипации ω турбулентности приведены ниже

$$\frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho v_j k)}{\partial x_j} = P - \beta^* \rho \omega k + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[(\mu + \sigma_k \mu_t) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right]$$

$$\frac{\partial(\rho\omega)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho v_j \omega)}{\partial x_j} = \frac{\gamma}{v_t} P - \beta \rho \omega^2 + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[(\mu + \sigma_{\omega} \mu_t) \frac{\partial \omega}{\partial x_j} \right] + (1 - F_1) \frac{\rho \sigma_{\omega 2}}{\omega} \frac{\partial k}{\partial x_j} \frac{\partial \omega}{\partial x_j},$$

где

$$P = \tau_{ij} \frac{\partial v_i}{\partial x_j}; \quad \tau_{ij} = \mu_t \left(2S_{ij} - \frac{2}{3} \frac{\partial v_k}{\partial x_k} \delta_{ij} \right) - \frac{2}{3} \rho k \delta_{ij}; \quad S_{ij} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial v_i}{\partial x_j} + \frac{\partial v_j}{\partial x_i} \right); \quad \mu_t = \frac{\rho a_1 k}{\max(a_1 \omega, \Omega F_2)};$$

$$\varnothing = F_1 \varnothing_1 + (1 - F_1) \varnothing_2; \quad F_1 = \tanh(\arg_1^4);$$

$$\arg_1 = \min \left[\max \left(\frac{\sqrt{k}}{\beta^* \omega d}, \frac{500\nu}{d^2 \omega} \right), \frac{4\rho \sigma_{\omega 2} k}{CD_{k\omega} D^2} \right]; \quad CD_{k\omega} = \max \left(2\rho \sigma_{\omega 2} \frac{1}{\omega} \frac{\partial k}{\partial x_j} \frac{\partial \omega}{\partial x_j}, 10^{-20} \right);$$

$$\arg_2 = \max \left(2 \frac{\sqrt{k}}{\beta^* \omega d}, \frac{500\nu}{d^2 \omega} \right);$$

$$\nu_t = \frac{\mu_t}{\rho}, \quad \Omega = \sqrt{2\Omega_{ij}\Omega_{ij}}; \quad \Omega_{ij} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial v_i}{\partial x_j} - \frac{\partial v_j}{\partial x_i} \right); \quad \beta_{\omega} = \min(P, 20\beta^* \rho \omega k);$$

$$\gamma_1 = \frac{\beta_1}{\beta^*} - \frac{\sigma_{\omega 1} k^2}{\sqrt{\beta^*}}; \quad \gamma_2 = \frac{\beta_2}{\beta^*} - \frac{\sigma_{\omega 2} k^2}{\sqrt{\beta^*}};$$

Значения параметров, используемых в уравнениях математической модели:

$$\sigma_{k1} = 0.85; \quad \sigma_{\omega 1} = 0.5; \quad \beta_1 = 0.075; \quad \sigma_{k2} = 1.0; \quad \sigma_{\omega 2} = 0.856; \quad \beta_2 = 0.0828; \quad \beta^* = 0.09; \quad k = 0.41; \quad a_1 = 0.31.$$

На базе математической модели, описывающей трехмерное турбулентное течение несжимаемой жидкости и приведенной ранее были проведены численные расчеты для определения характеристик течения в элементах разгрузочного устройства и выходном канале электропневматического клапана.

Внешний вид проточной части моделируемого клапана в открытом и закрытом виде приведено на рис. 1.

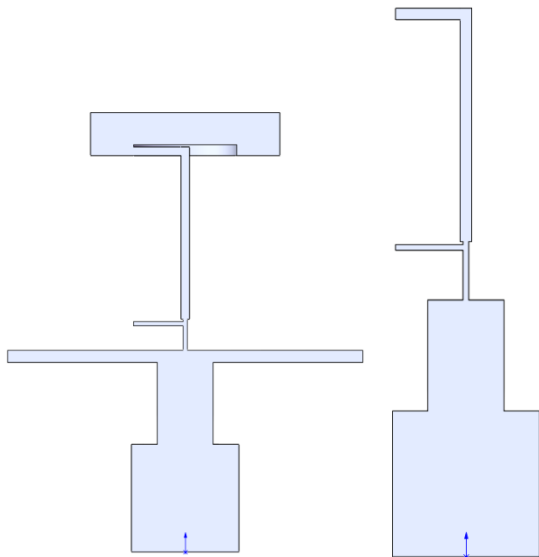


Рис. 1. Диаметральное сечение проточной части клапана с разгрузочным устройством в открытом и закрытом состоянии

Пример расчетной сетки проточной части верхней части разгрузочного устройства клапана приведена на рис. 2.

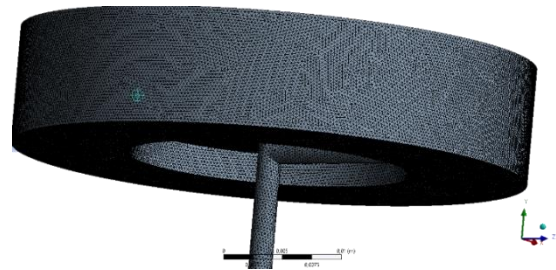


Рис. 2. Расчетная сетка

Для получения необходимых значений u^+ , обеспечивающих физичность процессов и высокую точность при расчете течения в зонах пограничных слоев и зон высоких градиентов расчетных величин использовано локальное уплотнение расчетной сетки (рис. 3).

Для определения пропускной способности каналов разгрузочного устройства был произведен расчет течения в электропневматическом клапане. Результаты расчетов приведены на рис. 4-10, где показанные картины течения в проточных частях ЭПК в виде векторов поля скоростей и изолиний равного давления.

Численный расчёт показал, что использование заводской геометрии якоря электропневматического клапана для

использования в качестве дренажных каналов невозможно. А также невозможно использовать естественные полости в качестве тормозных устройств.

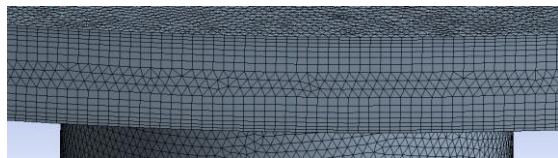


Рис. 3. Уплотнение расчетной сетки у твердых стенок

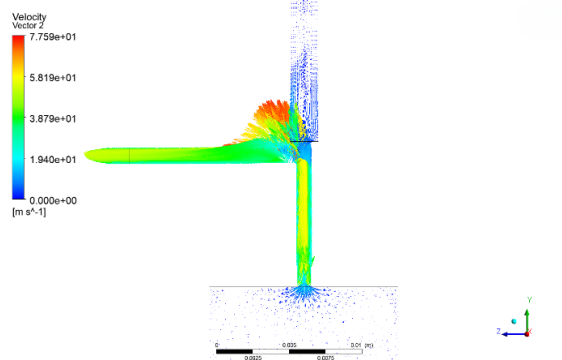


Рис.4. Поле скоростей в плоскости симметрии в сбросном канале закрытого ЭПК

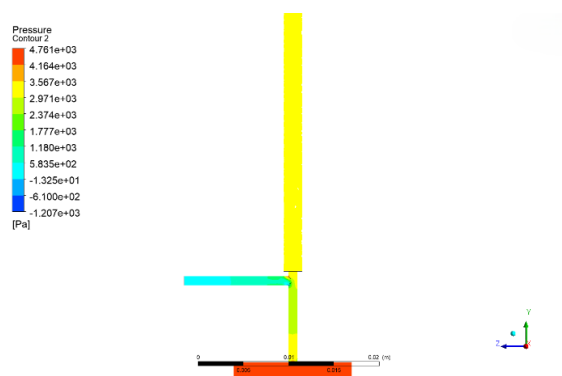


Рис. 5. Изолинии давления в сбросном канале закрытого ЭПК

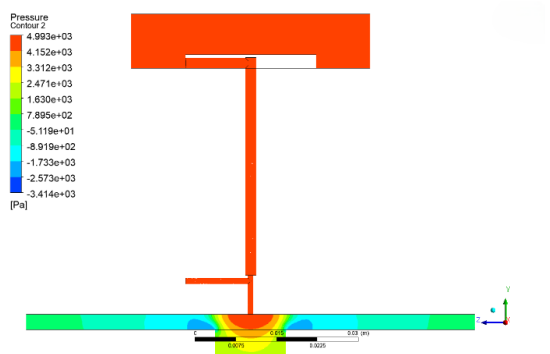


Рис. 6. Изолинии давления в сбросном канале открытого ЭПК

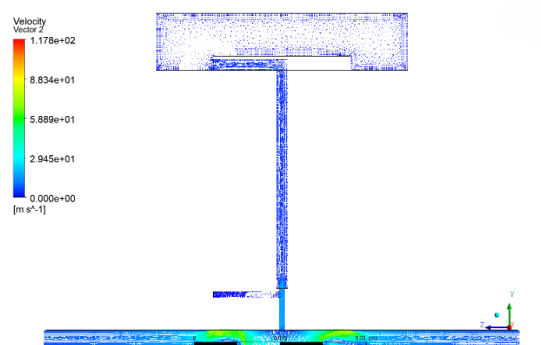


Рис. 7. Поле скоростей в плоскости симметрии в начале наполнения верхней камеры открытого ЭПК

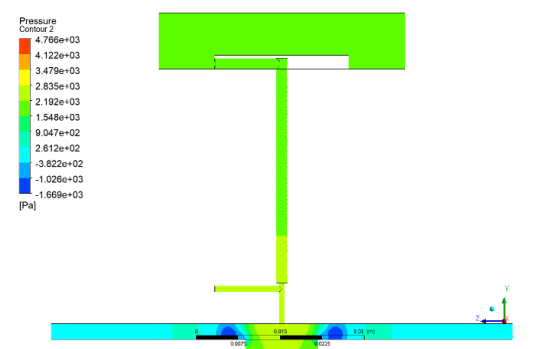


Рис. 8. Изолинии давления в плоскости симметрии в начале наполнения верхней камеры открытого ЭПК

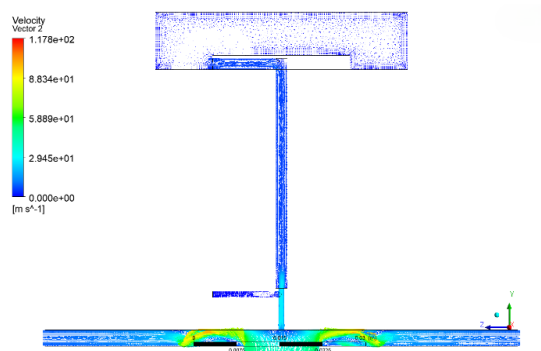


Рис. 9. Поле скоростей в плоскости симметрии в середине наполнения верхней камеры открытого ЭПК

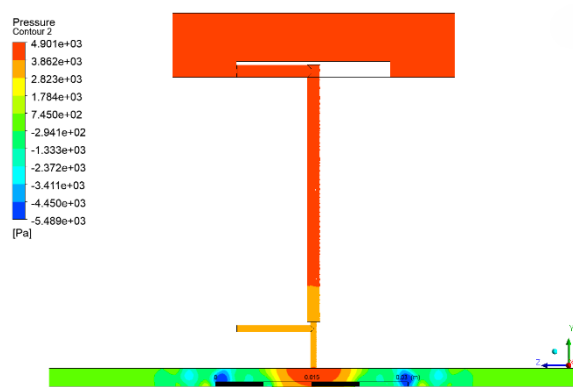


Рис. 10. Изолинии давления в плоскости симметрии в середине наполнения верхней камеры открытого ЭПК

Разгрузка сердечника клапана положительным образом сказалась на динамических свойствах последнего, но в свою очередь не могла не сказаться на возникающие напряжения в зоне контакта запорного элемента с седлом. Для анализа контактных напряжений был проведен численный эксперимент для оптимальных параметров проточной части тормозного устройства. Расчетная схема приведена на рис. 11.

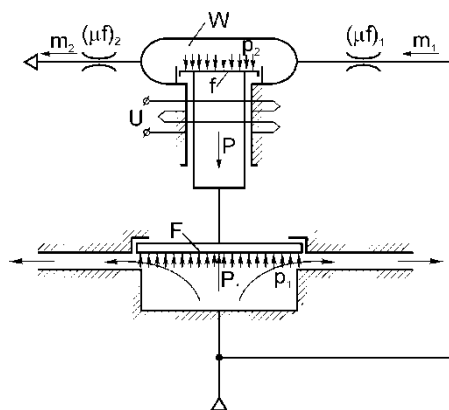


Рис. 11. Расчетная схема ЭПК с разгрузкой сердечника

Расчетная схема состоит из двух дросселей: дроссель наполнения $\mu_1 f_1$, расположенный непосредственно в сердечнике, и дренажного дросселя $\mu_2 f_2$, который представляет собой щель между сердечником и катушкой. Рабочая среда под давлением p_1 через отверстие в сердечнике $\mu_1 f_1$ поступает в камеру, расположенную над сердечником, переменный объем камеры $W = \text{var}$ обеспечивается за счет движения сердечника. Сброс воздуха из камеры, расположенной над сердечником в атмосферу $p_{\text{атм.}}$ происходит через дренажный дроссель $\mu_2 f_2$.

Математическая модель электропневматического клапана представлена системой уравнений динамического равновесия сердечника, уравнениями расхода воздуха при докритическом истечении через элементы проточной части, и уравнениями электрических процессов с начальными и граничными условиями, в следующем виде:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dh}{dt} = V; \\ M \frac{dV}{dt} = P - P_1 + p_2 f - k_d V + Mg; \\ P = k_{pi} i - k_{ph} h; \\ \frac{dLi}{dt} + R_c \cdot i = U(t); \\ \frac{W_0 + f(h_{\max} - h)}{kRT} \frac{dp_2}{dt} + \frac{p_2}{RT} f \cdot V = m_1 - m_2; \\ m_1 = \mu_1 f_1 p_1 \sqrt{\frac{2k}{(k-1)RT} \left[\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{2}{k}} - \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k+1}{k}} \right]}, \quad \text{при } \frac{p_2}{p_1} \geq 0,528 \\ m_2 = \mu_2 f_2 p_2 \sqrt{\frac{2k}{(k-1)RT} \left[\left(\frac{p_{\text{атм.}}}{p_2} \right)^{\frac{2}{k}} - \left(\frac{p_{\text{атм.}}}{p_2} \right)^{\frac{k+1}{k}} \right]}, \quad \text{при } \frac{p_2}{p_1} \geq 0,528 \\ \text{Начальные условия: } t = 0; \quad h = 0; \quad V = 0; \quad i = 0; \quad p_2 = p_a; \quad U = 24. \\ \text{Граничные условия: } 0 \leq h \leq h_{\max}. \end{array} \right.$$

Решение уравнений математической модели проводилось методом Рунге – Кутты 4 – го порядка точности в среде пакета прикладных программ для инженерных и научных расчётов Freemath®.

Результаты исследований. Коэффициент динамизма для исходного клапана и клапана с улучшенными динамическими характеристиками можно рассчитать по следующей формуле:

$$K_{\text{дин}} = 1 + \sqrt{1 + \frac{V^2}{g\delta_{\text{ст}}}},$$

где V – скорость перемещения запорного элемента перед ударом;

g – ускорение свободного падения;

$\delta_{\text{ст}}$ – деформация запорного элемента при статическом нагружении.

$$\delta_{\text{ст}} = \frac{PL}{EF},$$

где P – сила, действующая на запорный элемент;

L – высота запорного элемента;

E – модуль упругости второго рода, материала запорного элемента;

F – площадь контакта запорного элемента с седлом клапана.

Рассчитаем деформацию запорного элемента для базового клапана и клапана с разгруженным сердечником.

$$\delta_{\text{ст}}^{\text{б}} = \frac{PL}{EF} = \frac{2 \cdot 2 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 10^{11} \cdot 2.12 \cdot 10^{-5}} = 0.94 \cdot 10^{-9} \text{ (м)},$$

$$\delta_{\text{ст}}^{\text{р}} = \frac{PL}{EF} = \frac{5.78 \cdot 2 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 10^{11} \cdot 2.12 \cdot 10^{-5}} = 2.73 \cdot 10^{-9} \text{ (м)}.$$

В соответствии с полученными деформациями рассчитаем коэффициент динамизма для исходного клапана и клапана с улучшенными динамическими характеристиками:

$$K_{\text{дин}}^{\text{б}} = 1 + \sqrt{1 + \frac{V^2}{g\delta_{\text{ст}}^{\text{б}}}} = 1 + \sqrt{1 + \frac{0.45^2}{9.81 \cdot 0.94 \cdot 10^{-9}}} = 4.69 \cdot 10^3,$$

$$K_{\text{дин}}^{\text{р}} = 1 + \sqrt{1 + \frac{V^2}{g\delta_{\text{ст}}^{\text{р}}}} = 1 + \sqrt{1 + \frac{0.9^2}{9.81 \cdot 2.73 \cdot 10^{-9}}} = 5.5 \cdot 10^3.$$

Полученные коэффициенты позволяют рассчитать величину контактных напряжений:

$$\sigma^{\text{б}} = K_{\text{дин}}^{\text{б}} \frac{P}{F} = 4.69 \cdot 10^3 \frac{2}{2.12 \cdot 10^{-5}} = 4.42 \cdot 10^8 \text{ (Па)},$$

$$\sigma^{\text{р}} = K_{\text{дин}}^{\text{р}} \frac{P}{F} = 5.5 \cdot 10^3 \frac{5.78}{2.12 \cdot 10^{-5}} = 1.5 \cdot 10^9 \text{ (Па)}.$$

Рассчитанные контактные напряжения для усовершенствованного клапана превышают на 430% напряжения для базового клапана и существенно превышают предел текучести для конструкционных и недорогих инструментальных сталей.

Выводы. 1. Получило дальнейшее развитие и углубление математическое моделирование гидродинамики проточной части ЭПК, которое основано на уравнениях трехмерного турбулентного течения вязкой несжимаемой жидкости осредненных по Рейнольдсу (RANS), уравнении неразрывности, уравнениях SST модели турбулентности Ментера и граничных условиях, позволившее рассчитать гидродинамические характеристики течения в разгрузочном устройстве и выходном канале электропневматического клапана.

2. Получило дальнейшее развитие и углубление математическое моделирование динамики электропневматического клапана, которое основано на уравнениях движения подвижных частей, уравнениях неразрывности течения в проточных частях разгрузочного устройства, уравнениях массовых расходов, уравнениях тяговой характеристики электромагнита, уравнении аэродинамических сил, действующих на запорный элемент, уравнении упругой деформации, начальных и граничных условиях, позволившее рассчитать переходные процессы в электрической, пневматической и механической частях электропневматического клапана.

3. Контактные напряжения для усовершенствованного клапана превышают на 430% напряжения для базового клапана и существенно превышают предел текучести для конструкционных и недорогих инструментальных сталей.

4. Использование заводской геометрии якоря электропневматического клапана для использования в качестве дренажных каналов невозможно. А также невозможно использовать естественные полости в качестве тормозных устройств.

Список источников

1. Гарбарук А. В., Стрелец М. Х., Шур М. Л. "Современные подходы к моделированию турбулентности", – СПб, Изд-во Политехн. ун-та, 2016. – 234 с.
2. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. - М.: Дрофа, 2003. - 840 с.
3. Мальцев Я.И. Актуальность проблемы мобильности населения. Научные подходы для ее

решения / Я.И. Мальцев, М.О. Мальцева, Е.Ю. Суворова // Вестник Луганского государственного университета имени Владимира Даля. – Луганск: Изд-во ЛГУ им. В. Даля, 2023 – № 11. – С. 62-67.

4. Мальцева М.О. Исследование гидродинамики проточной части электропневматического клапана / М.О. Мальцева // Вісник СЛУ ім. В.Даля - електронний. – №3Е. – 2009.

5. Семин Д.А., Павлюченко В.А., Мальцев Я.И. Устройства сопряжения струйной макротехники с современными системами управления // Вестник НТУУ «КПИ». Машиностроение. Вып.38. – Киев. – 2000. – С. 216-220.

6. Фабрикант Н.Я. Аэродинамика. – М.: Наука, 1964. – 816 с.

References

1. Garbaruk A. V., Strelec M. H., Shur M. L. "Sovremennyye podhody k modelirovaniyu turbulentnosti", – SPb, Izd-vo Politehn. un-ta, 2016. – 234 s.

Информация об авторах

Мальцев Ярослав Иванович, к.т.н., доцент, заведующий кафедрой гидрогазодинамики Луганского государственного университета имени Владимира Даля, г. Луганск.

Мальцева Марина Олеговна, к.т.н. доцент кафедры гидрогазодинамики Луганского государственного университета имени Владимира Даля, г. Луганск.

2. Lojczanskij L.G. Mehanika zhidkosti i gaza. – M.: Drofa, 2003. – 840 s.

3. Maltsev Y.I. Profiling the flow part of the outlet channel of an electro-pneumatic valve of the solenoid type / Y.I. Maltsev, M.O. Maltseva, E.Y. Suvorova // Vestnik Lugansk Vladimir Dahl State University. – Lugansk: Publisher LSU named after V. Dahl, 2023 – № 11 – P. 62-67.

4. Maltseva M.O. Study of the hydrodynamics of the flow part of an electropneumatic valve / M.O. Maltseva // News of SNU im. V.Dal – electronic. – No. 3E. – 2009.

5. Syomin D.A., Pavlyuchenko V.A., Maltsev Ya.I. Devices for interfacing inkjet macrotechnics with modern control systems. // Bulletin of NTUU "KPI". Mechanical engineering. Issue 38. – Kiev. – 2000. – Pp. 216-220.

6. Fabrikant N.Ya. Aerodynamics. – M.: Nauka, 1964. – 816 p.

Статья подана 15.09.2024

Information about the authors

Maltsev Yaroslav Ivanovich, Ph.D. Head of the Department of Fluid and Gas Dynamics of the Lugansk State University named after Vladimir Dahl.

Maltseva Marina Olegovna, Ph.D. Associate Professor of the Department of Fluid and Gas Dynamics of the Lugansk State University named after Vladimir Dahl.

Для цитирования:

Мальцев Я. И., Мальцева М. О. Исследование гидродинамики проточной части разгрузочного устройства выходного канала электропневматического клапана соленоидного типа // Вестник Луганского государственного университета имени Владимира Даля. – 2024. – № 11(89). – С. 82-88.

For citation:

Maltsev Y. I., Maltseva M. O. Study of the hydrodynamics of the flow part of the unloading device of the outlet channel of an electropneumatic solenoid valve // Vestnik of Lugansk State University named after Vladimir Dahl. – 2024. – № 11(89). – P. 82-88.

УДК 332.12

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОЦЕНКИ
ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА РЕГИОНА****Протасов В. В., Бойко И. П.****THEORETICAL AND PRACTICAL ASPECTS OF ASSESSING
THE HUMAN POTENTIAL OF THE REGION****Protasov V.V., Boyko I. P.**

Аннотация. Статья посвящена проблемам развития человеческого потенциала на региональном уровне. Рассмотрены научные подходы к определению сущности человеческого потенциала, инструменты и показатели его оценки на региональном уровне. Проведен анализ ряда показателей человеческого потенциала Ростовской области. Выявлены проблемы, препятствующие развитию человеческого потенциала Ростовской области, и обозначены пути их решения.

Ключевые слова: человеческий потенциал, население, показатели, оценка, проблемы.

Abstract. The article is devoted to the problems of human potential development at the regional level. Scientific approaches to determining the essence of human potential, tools and indicators for its assessment at the regional level are considered. The analysis of a number of indicators of the human potential of the Rostov region is carried out. The problems hindering the development of the human potential of the Rostov region have been identified and ways to solve them have been identified.

Key words: human potential, population, indicators, assessment, problems.

Введение. На современном этапе экономического развития России, в столь непростое для страны время проблемы оценки эффективности использования трудового и человеческого потенциала на региональном уровне требуют более пристального внимания. Человек, используя свой потенциал в любой сфере трудовой деятельности, трансформирует его в один важнейший производственный фактор.

Актуальность темы нашего исследования заключается в том, что вопросам оценки и развития человеческого потенциала на уровне региона, по нашему мнению, не уделяется должного внимания как в теоретической, так и в практической плоскости.

Вопросы теории и практики развития человеческого потенциала сравнительно давно вызвали интерес у исследователей в этой области экономических знаний. Считается, что основы формирования концепции человеческого капитала были заложены в

работах основоположников классической экономической теории: У. Петти, А. Смита, Д. Рикардо. Большой вклад в формирование и развитие теории в современном виде внесли ученые экономисты Т. Шульц и Г. Беккер. Среди современных отечественных исследований в области развития и оценки человеческого потенциала (капитала) на региональном уровне вызывают интерес работы О.В. Валеевой, Н. В. Зубаревич, И. В. Соболевой, И.А. Питайкиной, С.Н. Сахаровского, Е.В. Чучулиной, А.А. Федотова.

Человеческий потенциал является ключевым элементом для достижения перспектив, реализации планов и целей, а также раскрытия возможностей общества. Его развитие на региональном уровне неразрывно связано с социально-экономическим состоянием региона. В то же время накопление и эффективное использование человеческого потенциала региона оказывают положительное

влияние на его развитие, формируя основу для экономического роста и повышения уровня жизни населения [1].

Постановка задачи. Для достижения эффективного управления количественными и качественными аспектами формирования человеческого потенциала очень важно понимать влияние различных факторов на этот процесс. Прежде всего следует проанализировать, каким образом каждый фактор влияет на изменения в развитии человеческого потенциала. Это включает в себя изучение таких элементов, как образование, здоровье, демография, социальные условия и экономические ресурсы.

В то же время необходимо рассмотреть, каким образом само формирование человеческого потенциала влияет на индекс его развития. Есть ли обратная связь между развитием человеческих ресурсов и ростом этого индекса? Такие исследования позволяют глубже понять взаимосвязь между факторами, оказывающими влияние на результат, и полученными результатами.

Таким образом, выявление наиболее значимых факторов и их степени воздействия может предоставить важные данные для принятия решений, направленных на совершенствование человеческого потенциала. Научившись эффективно управлять этими факторами, можно значительно улучшить качество жизни людей и за счет этого поднять общий уровень развития общества. Правильное понимание происходящих процессов открывает новые возможности для достижения устойчивого роста и повышения благосостояния людей.

Цель работы заключается в критическом анализе сущности понятия «человеческий потенциал», определении основных показателей, характеризующих уровень его развития, а также в оценке человеческого потенциала Ростовской области.

Методика исследований. В процессе написания работы нами применялись такие методы исследования, как метод сравнения, измерения, описательный метод, статистический (метод ранжирования, индексов, классификации), метод интерпретации анализа статистических данных.

Для логического изложения материала и достижения поставленной цели нашу статью мы разбили на три взаимосвязанные части: анализ сущности понятия «человеческий

потенциал»; показатели, характеризующие уровень развития человеческого потенциала; проведение оценки и анализа человеческого потенциала Ростовской области.

Необходимо подчеркнуть, что в статье человеческий потенциал нами рассматривается не как общенаучная категория, а как экономическая.

Результаты исследований. Сущность понятия «человеческий потенциал».

В экономической литературе можно встретить различные подходы к определению сущности понятия «человеческий потенциал».

В табл. 1 представлены примеры определения различными авторами сущности понятия «человеческий потенциал».

В результате анализа представленных в табл. 1 подходов к определению сущности понятия «человеческий потенциал» мы пришли к мнению, что среди авторов нет единого мнения в его трактовке. Так, некоторые авторы, например, Сеницына В.В. [4] и Иванова Т. А., Валяева Г. Г., Трофимова В. Ш., Реент Н. А. [2], по нашему мнению, понятие «человеческий потенциал» отождествляют с понятием «человеческий капитал», что может приводить к некорректному их применению. Мы считаем, что понятие «человеческий потенциал» необходимо рассматривать с позиции, что все способности, знания, навыки и многие другие качества человека присущи ему и не зависят от того, приносят ли они какую-то материальную выгоду в течение жизни, а понятие «человеческий капитал» с позиции только тех способностей, знаний, навыков и многих других качеств человека, которые могут быть реализованы за материальное вознаграждение при необходимости.

На региональном уровне человеческий потенциал необходимо рассматривать не только как совокупность основных способностей и возможностей индивида, но и как суммарный потенциал социума, проживающего на данной территории.

В результате проведенного исследования мы предлагаем свою авторскую трактовку определения сущности понятия человеческого потенциала региона.

Человеческий потенциал региона – это совокупность врожденных и приобретенных способностей и возможностей как индивида, так и всего населения территории, которые могут быть реализованы в производственной и потребительской сферах жизнедеятельности.

Таблица 1

Определения сущности понятия «человеческий потенциал»

Автор	Определение
Синицына В.В. [4]	<i>Человеческий потенциал</i> в широком смысле представляет собой совокупность способностей индивида, обеспечивающих ему возможность выполнять различные социальные роли и функции для достижения поставленных целей в личной и общественно-полезной деятельности с целью удовлетворения потребностей. <i>Человеческий потенциал</i> в узком смысле — это совокупность способностей индивида, создающих конкурентные преимущества в трудовой деятельности, наделяющих его свободой в выборе сферы применения своих способностей для получения вознаграждения.
Соболева И. В. [5]	...накопленный населением запас физического и нравственного здоровья, общекультурной и профессиональной компетентности, творческой, предпринимательской и гражданской активности, реализуемый в разнообразных сферах деятельности, а также в уровне и структуре потребностей
Федотов А. А. [9]	... понятие человеческого потенциала экономики рассматривает производительные, потребительские и другие способности всего населения (в том числе нетрудоспособной части), способствующие эффективности воспроизводственных процессов ... понятие человеческого потенциала в общем смысле рассматривает всё многообразие способностей, навыков и умений человека вне зависимости от того, насколько они находят применение в производительной деятельности и без учёта влияния на экономику
Иванова Т. А., Валяева Г. Г., Трофимова В. Ш., Реент Н. А. [2]	... в экономическом контексте человеческий потенциал может быть представлен как человеческий капитал
Валеева О.В. [1]	<i>Человеческий потенциал</i> – это интегральная оценка свойств населения, отражающая уровень и возможности развития людей при определенных природно-экологических, социально-экономических и политико-правовых условиях.

Источник: составлено авторами в ходе анализа научной литературы

Показатели уровня развития человеческого потенциала.

В настоящее время нет единого системного подхода к использованию тех или иных показателей для оценки уровня развития человеческого потенциала региона, поэтому конкретное их применение определяется целями и задачами проводимых исследований.

Одним из показателей оценки качества человеческого потенциала является индекс развития человеческого потенциала (ИРЧП), принятый Программой развития Организации Объединенных Наций (ПРООН), который используется для определения уровня жизни людей в целях сопоставления на межстрановом и региональном уровнях. Это статистический сводный индекс показателей ожидаемой продолжительности жизни, образования (среднее количество завершенных лет обучения и ожидаемые годы обучения при поступлении в систему образования) и дохода на душу населения.

Если человеческий потенциал региона рассматривать с позиции разделения на

составляющие подпотенциалы, то его основными структурными элементами являются: демографическая составляющая, здоровье, образование и благосостояние. Для оценки состояния каждой из этих составляющих имеется ряд своих показателей, например, для:

- демографической: численность населения, уровень рождаемости и смертности, естественный прирост (убыль) населения, уровень миграции, численность мужчин и женщин и др.;

- здоровье: ожидаемая продолжительность жизни при рождении, заболеваемость населения по основным классам болезней, обеспеченность населения больничными койками, расходы на продукцию медицинского назначения и оплату медицинских услуг и др.;

- образование: показатели распределения населения по уровню полученного образования и длительность обучения, количество организаций, осуществляющих образовательную деятельность и др.;

- благосостояние: реальные располагаемые денежные доходы населения, среднемесячная номинальная начисленная заработная плата работников, основные показатели пенсионного обеспечения, уровень бедности и др.

Оценка и анализа человеческого потенциала Ростовской области.

Эффективное управление человеческим потенциалом региона во многом зависит от представления о состоянии его качества. Поэтому необходимую информацию для принятия обоснованных управленческих

решений можно получить только, проведя анализ ключевых показателей развития человеческого потенциала региона.

Численность населения региона является одним из основных демографических показателей и выражает его суммарный человеческий потенциал.

Рассмотрим динамику изменения численности населения Ростовской области и для сопоставления Российской Федерации в целом (табл. 2).

Таблица 2

Изменения общей численности населения Ростовской области и Российской Федерации (тыс. чел.)

Год	Ростовская область		Российская Федерация	
	население	абсолютный прирост, убыль(-)	население	абсолютный прирост, убыль(-)
2010	4278,0	-14,5	142865,4	31,9
2020	4229,5	-1,1	146171,0	-577,6
2021	4216,6	-12,9	145557,5	-613,4
2022	4192,3	-24,3	146447,4	-532,7
2023	4164,5	-27,8	146150,8	-296,6

Источник: составлено авторами по данным [10]; [11]

Из данных, представленных в табл. 2, мы видим, что за рассматриваемый период наблюдается устойчивая тенденция уменьшения общей численности населения Ростовской области, она сократилась почти на 125 тыс. чел. или на 2,73%. Причем эта убыль только за последние четыре года составила около 50 тыс. чел. или более 1 %. Тем не менее в общероссийском рейтинге Ростовская область по численности населения занимает довольно высокое 6 место.

Если говорить о Российской Федерации в целом, то картина выглядит также не лучшим образом. Так, за 2023 год естественная убыль населения РФ (без учета миграции) составила

500264 человек, а за 2021 — более миллиона человек (1043341), что является рекордом за последние почти 20 лет.

Попробуем, насколько это возможно в рамках данной статьи, выявить причины сокращения численности населения Ростовской области.

Основными факторами, влияющими на численность населения региона, являются: рождаемость, смертность, миграция и уровень жизни. Рассмотрим их более подробно.

В табл. 3 представлены показатели рождаемости, смертности и естественного прироста (убыли) населения Ростовской области.

Таблица 3.

Рождаемость, смертность и естественный прирост (убыль) населения Ростовской области

Год	Всего, чел.			На 1000 населения		
	родившихся	умерших	естественный прирост, убыль(-)	родившихся	умерших	естественный прирост, убыль(-)
2010	46607	62879	-16272	10,9	14,7	-3,8
2020	36485	64773	-28288	8,6	15,3	-6,7
2021	35847	78592	-42745	8,5	18,7	-10,2
2022	32598	60174	-27576	7,8	14,4	-6,6
2023	32171	54112	-21941	7,7	13,0	-5,3

Источник: составлено авторами по данным Федеральной службы государственной статистики по Ростовской области [10]

При рассмотрении данных, представленных в табл. 3, видно, что смертность в регионе за анализируемый период времени опережает рождаемость, а естественный прирост имеет отрицательное значение. Причем эта разница за 2021 год достигала почти двукратного значения. Число родившихся на 1000 населения в Ростовской области за анализируемый период сократилось с 10,9 человека в 2010 году до 7,7 человека в 2023 году или на 29,4%, хотя свою позицию по этому показателю среди субъектов РФ регион улучшил, переместившись с 63–68-го места на 52–54-е.

А вот по показателям смертности Ростовская область в общероссийском рейтинге опустилась с 37-го на 45-место. И это при снижении смертности на тысячу населения на 11,56% с 14,7 человека в 2010 году до 13 человек в 2023 году [15].

Касательно падения уровня рождаемости как в Ростовской области, так и в подавляющем большинстве регионов России нужно отметить, что с этой проблемой в настоящее время сталкивается весь мир. По данным статистической системы «Business and economic data for 200 countries» (сайт, TheGlobalEconomy.com.) за 2022 год, число рождений на 1000 человек населения составил: средний показатель в мире – 18,38, наибольшее

значение: Нигер – 45,03, наименьшее значение: Гонконг – 4,4.

Считается, что в развитых странах причинами низкой рождаемости могут быть, например, рост образовательного и культурного уровня населения, построение личной карьеры, уровень доходов и т.д. Мужчины и женщины в этих странах более осознанно подходят к вопросу планирования семьи.

Здесь уместно будет заметить, если вернуться к вышеприведенному примеру уровня рождаемости в странах Нигер и Гонконг, то мы наблюдаем противоречие зависимости уровня рождаемости от уровня благосостояния населения, так как по уровню дохода на душу населения Нигер занимает 166 место в мире, а Гонконг – 18 (данные за 2024 г.).

Что касается уровня смертности населения, то на него в первую очередь оказывают влияние показатели качества среды обитания человека и состояния его здоровья. Анализ влияния этих показателей на уровень смертности требует более глубокого и всестороннего подхода.

Следующим фактором, влияющим на численность населения региона, является миграция.

В табл. 4 приведены данные миграции населения Ростовской области.

Таблица 4.

Общие итоги миграции населения Ростовской области

	2010 г.	2020 г.	2021 г.	2022 г.	2023 г.
Прибыло – всего	50796	113066	111494	111119	112510
Выбыло – всего	49561	99825	96472	111318	102598
Сальдо	1235	13241	15022	-199	9912

Источник: составлено авторами по данным Федеральной службы государственной статистики по Ростовской области [10]

Мы видим из табл. 4, что миграционный поток населения Ростовской области имеет в основном положительное сальдо. Его пиковое значение мы наблюдаем в 2021 г. (+15022), наименьшее (-199) в 2022г.

Таким образом, возвращаясь к данным, представленным в табл. 2, мы можем утверждать, что естественная убыль населения области за анализируемый период в какой-то мере компенсировалась за счет положительного сальдо уровня миграции.

Как уже говорилось выше, для измерения и сравнения уровня жизни, грамотности, образования и долголетия как основных характеристик человеческого потенциала

региона используется индекс развития человеческого потенциала (ИРЧП) или при переводе термина ПРООН «human development index» – индекс человеческого развития (ИЧР).

Начиная с 2015 года расчет ИЧР в России выполняет Аналитический центр при Правительстве РФ. За это время было опубликовано несколько докладов о человеческом развитии в Российской Федерации и регионах, последний в декабре 2021 года. Несмотря на некоторые отличия применяемой Аналитическим центром методики расчета ИЧР для внутреннего сопоставления регионов РФ от методики ПРООН, полученные им значения ИЧР за 2019

год в целом по России (0,870) близки к оценкам ООН (0,824).

В табл. 5 представлены данные ИЧР по Ростовской области и Российской Федерации.

Анализируя данные, приведенные в табл. 5, можно сказать, что индекс человеческого развития за рассматриваемый период времени как РФ в целом, так и Ростовской области остался в частности почти на том же уровне, а его компоненты – индекс долголетия и индекс

образования – выросли. Этот прирост по РФ составил 5,2% и 7,0% соответственно, а по Ростовской области 5,2% и 3%. А вот индекс дохода снизился на 7,2% в РФ и на 5,6% по Ростовской области. И это несмотря на то, что абсолютное значение ВВП на душу население по ППС показывает рост. Падение индекса дохода однозначно указывает на снижение покупательной способности и уровня жизни людей.

Таблица 5.

Индекс человеческого развития и его компоненты в РФ и Ростовской области 2014 и 2019 гг.

Компоненты	Российская Федерация		Ростовская область	
	2014 г.	2019 г.	2014 г.	2019 г.
Душевой ВВП, долл. ППС	25 365	29189	14 678	18208
Индекс дохода	0,924	0,857	0,833	0,786
Ожидаемая продолжительность жизни, лет	70,93	73,3	71,3	73,7
Индекс долголетия	0,766	0,806	0,772	0,812
Грамотность, %	99,7	99,7	99,7	99,7
Охват образованием	0,806	0,862	0,817	0,896
Индекс образования	0,933	0,952	0,937	0,963
Индекс человеческого развития (ИЧР)	0,874	0,870	0,847	0,850

Источник: составлено авторами по данным [12]; [13]

Несмотря на то, что в рейтинге по уровню ИЧР среди регионов России Ростовская область с 46 места в 2014 году поднялась на 34-е в 2019-м, его значение ниже среднего по регионам страны.

Наше исследование было бы неполным, если не уделить внимание таким компонентам человеческого потенциала, как здоровье и образование.

Из-за ограниченных рамок статьи, мы не будем оценивать и анализировать множество

показателей, характеризующих их состояние, а рассмотрим эти компоненты с позиции финансовых вложений в их сохранение и развитие, которые, по нашему мнению, в значительной мере определяют их качественный уровень.

В табл. 6 представлены данные объемов финансирования здравоохранения и расходы на здравоохранение в расчете на душу населения в Ростовской области.

Таблица 6.

Объемы финансирования здравоохранения и расходы на здравоохранение в расчете на душу населения в Ростовской области

Годы	Финансирование, млн. руб.	На душу населения, руб.	Численность населения, тыс.
2014	40 932,1	9618	4 255,7
2015	43 324,5	10180	4 255,7
2016	44 376,7	10432	4 253,7
2017	45 517,3	10703	4 252,7
2018	56 192,2	13236	4 245,3
2019	63 788,0	15078	4 230,6
2020	77 398,4	18300	4 229,5
2021	82 310,1	19758	4 216,6
2022	87 599,7	20895	4 192,3
2023	96 564,5	23187	4 164,5

Источник: составлено авторами по данным [16]

На основании данных табл. 6 мы видим, что объем финансирования здравоохранения и расходы на здравоохранение в расчете на душу населения в Ростовской области в 2023 году относительно к 2014 году увеличились примерно в 2,4 раза или на 135%.

В табл. 7 представлены данные объемов финансирования образования и расходы на образование в расчете на душу населения в Ростовской области.

Таблица 7.

**Объемы финансирования образования и расходы на образование
в расчете на душу населения в Ростовской области**

Годы	Финансирование, млн. руб.	На душу населения, руб.	Численность населения, тыс.
2014	36 066,5	8475	4 255,7
2015	37 639,4	8844	4 255,7
2016	33 401,7	7852	4 253,7
2017	36 046,6	8476	4 252,7
2018	41 503,3	9776	4 245,3
2019	45 935,2	10858	4 230,6
2020	50 902,9	12035	4 229,5
2021	55 126,7	13074	4 216,6
2022	65 943,2	15730	4 192,3
2023	77 329,4	18569	4 164,5

Источник: составлено авторами по данным [16]

На основании данных табл. 7 мы видим, что объем финансирования образования и расходы на образование в расчете на душу населения в Ростовской области в 2023 году относительно к 2014 году увеличились примерно в 2,1 раза или на 114%.

На первый взгляд такой рост за 10 лет нельзя назвать плохим. Однако, учитывая то, что экономика страны за рассматриваемый период времени подвергалась воздействию различных негативных факторов, в том числе скачкообразный рост уровня инфляции, было бы интересно определить степень влияния последней на финансирование здравоохранения и образования в Ростовской области. Для этого, используя данные табл. 6 и 7 по годам и формулу сложных процентов, определим эквивалент суммы финансирования здравоохранения и образования в 2014 году, который должен был быть в 2023 году с учетом уровня инфляции за этот период.

В результате расчетов мы определили, что финансовые средства, выделенные на здравоохранение Ростовской области в сумме 40932,1 млн рублей в 2014 году эквивалентны сумме 81691,4 млн руб. в 2023 году с учетом среднего уровня инфляции за этот период, а на образование соответственно 36 066,5 млн рублей и 71833,3 млн руб. Отсюда следует, что покупательная способность денежных средств, выделяемых на здравоохранение и образование в Ростовской области, за эти годы снизилась

почти в 2 раза, практически нивелировав тот рост финансирования в абсолютных цифрах.

Выводы. На основании анализа различных подходов к определению сущности понятия человеческий потенциал мы видим, что среди авторов нет единого мнения в его трактовке, а некоторые понятие «человеческий потенциал» отождествляют с понятием «человеческий капитал».

В зависимости от целей и задач проводимых исследований для оценки состояния человеческого потенциала региона используется большое количество различных показателей, но основными из них являются те, которые используются для анализа основных структурных составляющих человеческого потенциал, а именно: демографической; здоровье; образование; благосостояние. В качестве комбинированного показателя, характеризующего развитие человека в странах и регионах мира, используется Индекс человеческого развития (ИЧР).

Анализ состояния человеческого потенциала Ростовской области позволил выявить ряд проблем, препятствующих его развитию, а именно:

- уменьшение численности населения за анализируемый период на 2,73%, которое обусловлено опережением уровня смертности над рождаемостью. Основными факторами, оказывающими влияние на эти показатели, являются качество жизни и здоровье человека.

Таким образом, можно сказать, что в целом демографическая ситуация в Ростовской области и Российской Федерации является сложной;

- падение индекса дохода в Ростовской области и Российской Федерации указывает на снижение покупательной способности и уровня жизни людей;

- недостаточное финансирование системы здравоохранения и образования свидетельствует о том, что в ближайшее время бюджетные расходы на эти составляющие человеческого потенциал вряд ли значительно вырастут. Их недофинансирование является одной из главных причин на пути развития человеческого потенциала как в Ростовской области, так и в России в целом.

Только комплексный подход как на федеральном, так и на региональном уровнях в области социальной, экономической и демографической политики при обеспечении должного финансирования позволит, по нашему мнению, постепенно решать обозначенные проблемы.

Список источников

1. Валеева, О.В. Методика расчета индекса развития человеческого потенциала в муниципальных образованиях (на примере Забайкальского края и Республики Бурятия / О.В. Валеева // Вестник ЗабГУ. – 2021. – Т. 22. – № 7. – С. 91-99.
2. Иванова, Т. А. Экономико-статистический анализ человеческого потенциала России и её регионов: монография / Т.А. Иванова, Г.Г. Валяева, В.Ш. Трофимова, Н.А. Реент. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2016. – 160 с.
3. Сахаровский, С.Н. Институциональные факторы формирования человеческого потенциала / С.Н. Сахаровский // Journal of institutional studies (Журнал институциональных исследований). – 2020. – Том 4. – № 2. – С. 83 - 92.
4. Сеницына, В.В. Формирование и развитие концепции человеческого потенциала. Гуманитарные науки / В. В. Сеницына // Вестник Финансового университета. – 2019 – № 9(6). – С. 150 - 155 URL: <https://doi.org/10.26794/2226-7867-2019-9-6-150-155>.
5. Соболева, И. В. Человеческий потенциал российской экономики. Проблемы сохранения и развития / И. В. Соболева, Ин-т экономики Рос. акад. наук. – М.: Наука, 2007. – 202 с. – (Экономическая теория и стратегия развития).
6. Питайкина, И.А. Выявление факторов устойчивого развития региона (на примере Пензенской области) / И.А. Питайкина, А.А.

Медведева // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. – 2019. – № 1 (17). – С. 77-86.

7. Прищепова А. О. Статистическое исследование индекса человеческого развития / А. О. Прищепова. – Текст: непосредственный // Вопросы экономики и управления. – 2016. – № 3 (5). – С. Т.1. 114-117. – URL: <https://moluch.ru/th/5/archive/31/975/> (дата обращения: 19.02.2025).

8. Чучулина Е.В. Социально-экономические оценки человеческого потенциала региона / Е.В. Чучулина // Вестник Пермского университета. Сер. Экономика. – 2019. – Спец.выпуск. – С. 40-45.

9. А.А. Федотов Человеческий потенциал и человеческий капитал. Сущность и отличие понятий / Федотов А.А. // Вестник ДонНУ. Сер. В. Экономика и право. – 2022 – № 2 – С 148-155.

10. Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Ростовской области [Электронный ресурс]. URL: <https://61.rosstat.gov.ru>

11. Федеральная служба государственной статистики [Электронный ресурс]. URL: <https://rosstat.gov.ru>

12. Доклад о человеческом развитии в Российской Федерации за 2016 год / под ред. С.Н. Бобылева и Л.М. Григорьева. — М.: Аналитический центр при Правительстве Российской Федерации, 2016. – 298 с.

13. «Индекс человеческого развития в России» Аналитический центр при Правительстве Российской Федерации, 2021. – 22 с.

14. Статистический ежегодник Ростовская область в цифрах URL: <https://61.rosstat.gov.ru>

15. За 14 лет Ростовская область ухудшила позиции среди регионов РФ по демографии, зарплатам и инвестициям URL: <https://www.donnews.ru/>

16. Официальный портал Правительства Ростовской области. URL: <https://www.donland.ru>

References

1. Valeeva O.V. Methodology for calculating the human development index in municipalities (on the example of the Trans-Baikal Territory and the Republic of Buryatia / O.V. Valeeva // Bulletin of ZabGU, 2021, vol. 22, No. 7, pp. 91-99.
2. Ivanova, T. A. Economic and statistical analysis of the human potential of Russia and its regions: a monograph / T. A. Ivanova, G. G. Valyaeva, V. S. Trofimova, N. A. Reent. Magnitogorsk: Publishing House of Magnitogorsk State Technical University. G. I. Nosov University, 2016. – 160 p.
3. Sakharovsky, S.N. Institutional factors of human potential formation / S.N. Sakharovsky // Journal

of institutional studies (Journal of Institutional Research). – 2020. – Volume 4. – No. 2. – Pp. 83-92.

4. Sinitsyna, V.V. Formation and development of the concept of human potential. Humanities / V. V. Sinitsyna // Bulletin of the Financial University. – 2019 – № 9(6). – P. 150 - 155
URL: <https://doi.org/10.26794/2226-7867-2019-9-6-150-155>.

5. Soboleva, I. V. Human potential of the Russian economy. Problems of Conservation and Development / I. V. Soboleva, Institute of Economics of the Russian Academy of Sciences, Moscow: Nauka, 2007– 202 p. (Economic theory and Development Strategy).

6. Pitaikina, I.A. Identification of factors of sustainable development of the region (on the example of the Penza region) / I.A. Pitaikina, A.A. Medvedeva // Models, systems, networks in economics, technology, nature and society. – 2019. – № 1 (17). – Pp. 77-86.

7. Prishchepova, A. O. Statistical study of the human development index / A. O. Prishchepova. – Text: direct // Issues of economics and management. – 2016. – № 3 (5). – S. T.1. 114-117. – URL: <https://moluch.ru/th/5/archive/31/975> (date of access: 02/19/2025).

8. Chuchulina, E.V. Socio-economic assessments of the human potential of the region / E.V. Chuchulina // Bulletin of Perm University. Ser. Economy. – 2019. – Special issue. – Pp. 40-45.

9. A.A. Fedotov Human potential and human capital. The essence and difference of concepts / Fedotov A.A. // Bulletin of DonNU. Ser. V. Economics and Law. – 2022 – No. 2 – From 148-155.

10. Territorial body of the Federal State Statistics Service for the Rostov region [Electronic resource]. URL: <https://61.rosstat.gov.ru>

11. Federal State Statistics Service [Electronic resource]. URL: <https://rosstat.gov.ru>

12. Report on human development in the Russian Federation for 2016 / edited by S.N. Bobylev and L.M. Grigoriev. Moscow: Analytical Center under the Government of the Russian Federation, 2016. – 298 p.

13. "Human Development Index in Russia" Analytical Center under the Government of the Russian Federation, 2021. – 22 p.

14. Statistical Yearbook of the Rostov region in numbers URL: <https://61.rosstat.gov.ru>

15. Over the past 14 years, the Rostov Region has worsened its position among the regions of the Russian Federation in terms of demography, salaries and investments URL: <https://www.donnews.ru/>

16. The official portal of the Government of the Rostov region. – URL: <https://www.donland.ru>

Статья поступила в редакцию 01.09.2024

Информация об авторах

Протасов Виктор Владимирович, к.э.н., доцент кафедры «Социально-экономических и педагогических дисциплин» Стахановского инженерно-педагогического института (филиала) Луганского государственного университета имени Владимира Даля, г. Стаханов.
E-mail: vvp3155@gmail.com

Бойко Иван Павлович, студент магистратуры кафедры Социально-экономических и педагогических дисциплин Стахановского инженерно-педагогического института (филиал) Луганского государственного университета имени Владимира Даля, г. Стаханов.
E-mail: boyko1217ivan@gmail.com

Information about the author

Protasov Viktor Vladimirovich, Associate Professor of the Department of "Socio-Economic and Pedagogical Disciplines" of the Stakhanov Engineering and Pedagogical Institute (branch) of the "Vladimir Dahl Luhansk State University", Stakhanov.
E-mail: vvp3155@gmail.com

Boyko Ivan Pavlovich, a graduate student of the Department of Socio-Economic and Pedagogical Disciplines of the Stakhanov Engineering Pedagogical Institute (branch) of the "Lugansk State University named after Vladimir Dahl", Stakhanov.
E-mail: boyko1217ivan@gmail.com

Для цитирования:

Протасов В.В., Бойко И.П. Социально-экономические аспекты оценки человеческого потенциала региона // Вестник Луганского государственного университета имени Владимира Даля. – 2024. – № 11(89). – С. 89-97.

For citation:

Protasov V. V., Boyko I. P. Socio-economic aspects of assessing the human potential of the region // Vestnik of Lugansk State University named after Vladimir Dahl. – 2024. – № 11(89). – P. 89-97.

УДК 331.23

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ МОТИВАЦИИ И СТИМУЛИРОВАНИЯ НА ПРЕДПРИЯТИИ

Протасов В. В., Задохина А. А.

IMPROVING THE SYSTEM OF MOTIVATION AND INCENTIVES AT THE ENTERPRISE

Protasov V. V., Zadokhina A. A.

Аннотация. В данной статье рассматриваются результаты анализа системы мотивации и стимулирования труда персонала конкретной коммерческой организации. Представлены результаты проведенного анкетирования сотрудников компании на предмет их удовлетворенности трудовыми условиями. На основании проведенного исследования разработан проект «Совершенствование системы мотивации и стимулирования персонала на предприятии».

Ключевые слова: предприятие, стимулирование труда, мотивация, совершенствование системы мотивации.

Abstract. This article examines the results of an analysis of the motivation and incentive system for the personnel of a particular commercial organization. The results of a survey of the company's employees regarding their satisfaction with working conditions are presented. Based on the conducted research, a project has been developed to "Improve the system of motivation and stimulation of personnel at the enterprise".

Key words: enterprise, labor promotion, motivation, improvement of the motivation system.

Введение. В современной коммерческой среде, улучшение мотивации персонала стоит в центре внимания, как один из ключевых элементов обеспечения эффективной работы организации. В этом контексте, большое значение приобретает анализ и оптимизация методов стимулирования сотрудников, разработка мотивационных стратегий, особенно в рамках торговых компаний.

Эти стратегии целенаправленно формируют оптимальную среду для наиболее эффективного использования рабочей силы, что, в свою очередь, способствует увеличению эффективности работы и прибыльности организации. Мотивация служит эффективным средством для повышения производительности [2].

В научном сообществе и в специализированной литературе достаточно широко обсуждаются и рассматриваются вопросы различных способов мотивации работников. Исследования, проведенные как в

теоретической, так и в прикладной плоскости, однозначно указывают на то, что наличие эффективной мотивационной программы способствует повышению уровня творческой и социальной активности среди персонала.

Проблемы, связанные с мотивацией сотрудников, часто встречаются на предприятиях России. Эти сложности вызваны не только отсутствием ясной стратегии развития и нечетко поставленными целями, но также плохими условиями труда и напряженностью в отношениях с руководством [4].

В обстановке, где лидеры компании не придают значения созданию нормальных рабочих условий для своих команд, нереально ожидать улучшения текущего положения. Игнорирование потребностей сотрудников со стороны администрации препятствует формированию действенной мотивационной политики, ориентированной на желания и стремления работников. В связи с этим,

основной задачей нашего исследования является создание механизма поощрения и мотивации на уровне конкретной организации, который предполагает разработку четкой стратегии развития, определение конкретных целей и задач для каждого члена коллектива, обеспечение благоприятных условий для работы и налаживание доверительных отношений между сотрудниками.

Теоретическую основу нашего исследования составляют законодательные акты Российской Федерации и научные труды в области менеджмента, мотивации и оплаты труда, в частности таких авторов, как Н.И. Корзенко, А.С. Хореев, Т.В. Лукьянов, Л.В. Карташов, Н.С. Пряжников и С.А. Шапиро. Исследование показало, что для достижения высокой производительности и мотивации сотрудников, необходимо создать определенные условия. Это, в свою очередь, будет способствовать повышению результативности работы предприятия и удовлетворенности вовлеченных сторон [3].

Объектом нашего исследования является ООО «ТД «ЭНЕРГОСНАБ», г. Луганск.

В рамках данной работы, главное внимание уделяется исследованию коллектива сотрудников компании, с целью выявления наиболее эффективных способов их мотивации.

Постановка задачи. Ключевой задачей работы является разработка стратегии для улучшения мотивационной системы исследуемой организации, что, в свою очередь, предполагает глубокий анализ существующих методов мотивации труда и их применение на практике в рамках конкретного предприятия.

Цель работы заключается в том, чтобы через теоретическое осмысление мотивации труда подойти к формированию новых, более эффективных подходов к стимулированию сотрудников рассматриваемой организации.

Материалы и методы. В ходе проведенного исследования в компании ООО «ТД «ЭНЕРГОСНАБ» была разработана анкета для изучения мотивации и стимулирования персонала, после чего был проведен опрос сотрудников. Результаты исследования показали, что работники компании в целом довольны своей работой. Необходимо отметить, что ни один из сотрудников не был абсолютно неудовлетворен своей работой. Лишь двое работников выразили частичное недовольство своей трудовой деятельностью.

Изучение уровня удовлетворенности трудовыми условиями сотрудников исследуемой компании представлено в виде диаграммы на рис. 1.

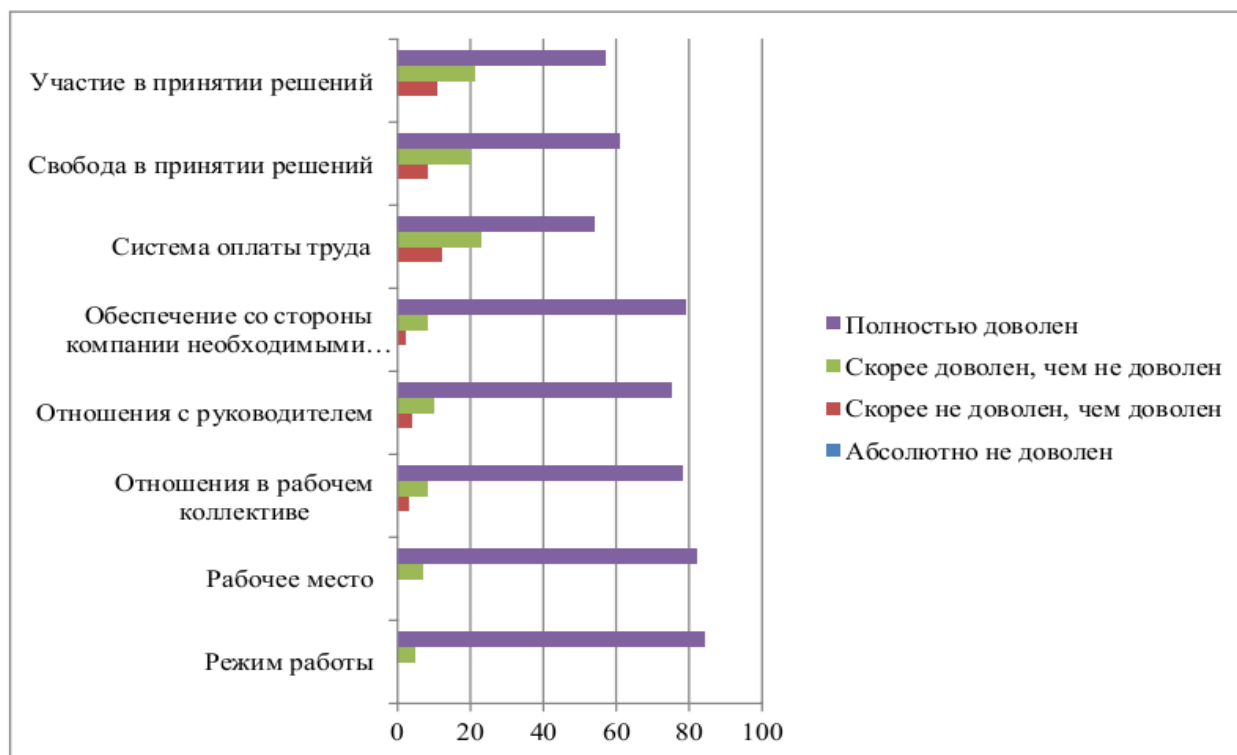


Рис. 1. Результаты оценки удовлетворённости сотрудников исследуемой компании условиями работы

Анализ данных, представленных на рис. 1, позволяет сделать вывод о том, что большинство работников компании выражают полное удовлетворение своими рабочими условиями. Недовольство в основном связано с процессом вознаграждения, что подчеркивает важность улучшения системы материального поощрения персонала. Положительным аспектом является отсутствие полностью недовольных сотрудников по каким-либо параметрам трудовых условий.

Результаты анализа удовлетворённости работников компании ООО «ТД «ЭНЕРГОСНАБ» условиями работы показывают, что лишь небольшое количество сотрудников высказали недовольство по различным пунктам. Например, 13% сотрудников выразили недовольство уровнем оплаты, 11 человек посчитали, что у них не хватает возможности принимать решения, и еще 8 человек отметили недостаток свободы в этом вопросе. Однако, в целом, большинство сотрудников не испытывают серьезных проблем на рабочем месте, что иллюстрируется на рис. 1.

В компании ООО «ТД «ЭНЕРГОСНАБ», оценка внутренней атмосферы среди работников выявила интересные результаты. Из исследования стало ясно, что значительная доля сотрудников (40,4%) указала на недостаточное внимание к их мнениям и предложениям. Однако, интересно отметить, что все руководители как высшего, так и среднего звена, без исключения, оценили ситуацию положительно. Это подчеркивает разрыв в восприятии между управленческим составом и остальными сотрудниками.

В контексте взаимоотношений внутри коллектива, результаты показали разнообразие мнений. Некоторые сотрудники выразили полную уверенность в том, что могут полагаться только на поддержку коллег, в то время как другие ощущают теплые и уважительные отношения как с коллегами, так и с начальством, отмечая их способность к сотрудничеству и взаимопомощи.

Существует также группа сотрудников, которые чувствуют себя ценными членами команды, получая признание за свой труд.

Это подчеркивает важность учитывать различные мнения и ощущения внутри рабочего коллектива, чтобы стремиться к более гармоничной и продуктивной рабочей атмосфере.

В контексте рассмотрения факторов, влияющих на решение сотрудников остаться в

компании при возможности смены места работы, важным фактором, помимо заработной платы, для них является шанс на профессиональное развитие, что логично, учитывая молодость коллектива.

Как показало исследование, в компании ООО «ТД «ЭНЕРГОСНАБ», работники скептически относятся к собственному вкладу в успехи фирмы. При этом более половины из них оценили свою долю вклада меньше чем на 50%. Это могло произойти из-за того, что доходы и бонусы работников мало связаны с их вкладом в дела компании. Дополнительно, низкая оценка эффективности системы поощрения без материальных стимулов, как показано на рисунке 2, указывает на недостатки в области нефинансовой мотивации. В связи с этим, компании следует серьезно задуматься о развитии и улучшении методов мотивации сотрудников.

На основе диаграммы, представленной на рис. 2, можно сделать выводы, что взгляды работников компании ООО «ТД «ЭНЕРГОСНАБ» на эффективность нематериальных методов мотивации существенно различаются. Данные показывают, что значительная часть коллектива не чувствует достаточной поддержки в виде благодарностей за свои труды, указывая на отсутствие или недостаток морального поощрения. В то же время, есть сотрудники, удовлетворенные текущим положением вещей в плане нематериального вознаграждения, хотя другая группа желала бы, чтобы вместо словесной благодарности их вознаграждали материально. Отчетливо видно, что система морального стимулирования в организации не полностью отвечает ожиданиям ее работников, что выражается в разнообразии их мнений и предпочтений.

Важно подчеркнуть, что для персонала компании ООО «ТД «ЭНЕРГОСНАБ» признание их усилий и достижений как со стороны управления, так и коллег, имеет существенное значение. Это подчеркивает их вклад и важность в коллективе.

Интенсивная работа, требующая повышения уровня навыков и увеличения ответственности, представляет собой вызов для сотрудников. Они чувствуют себя важными и нужными, осознавая свой вклад в общие цели и планы компании, а также ощущая свою причастность и получая уважение и признание в коллективе.

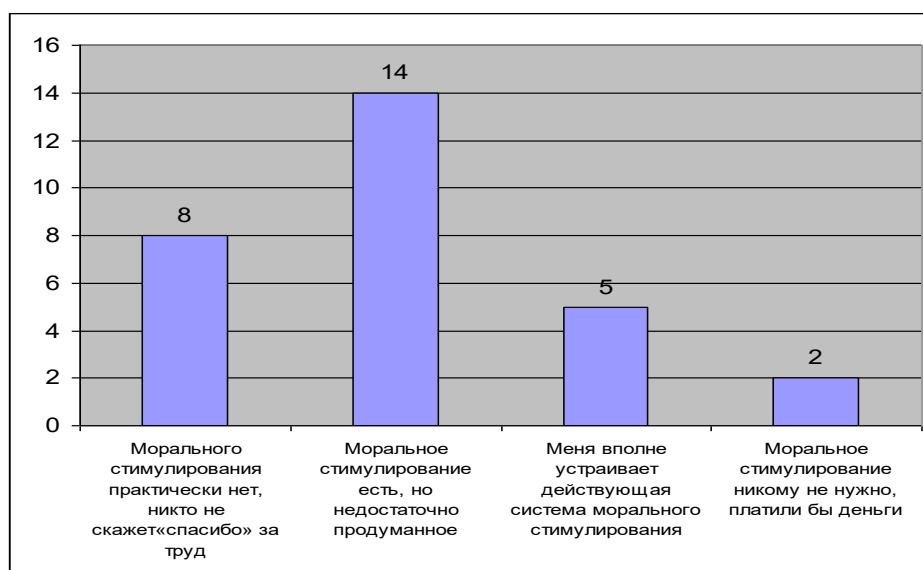


Рис. 2. Оценка сотрудниками морального стимулирования в ООО «ТД «ЭНЕРГОСНАБ»

В рамках ООО «ТД «ЭНЕРГОСНАБ»», анализ показал, что существующие методы мотивации, хоть и присутствуют, но недостаточно влияют на улучшение производительности сотрудников и общую эффективность компании. Среди разнообразных форм поощрений, таких как добавление благодарностей в личные дела работников, назначение наград и званий за выдающиеся достижения, вручение почетных грамот и выражение личной благодарности от руководства, ни одна не считается достаточно эффективной для значительного роста продуктивности.

В рамках выявленных проблем, следует осветить несколько аспектов, затрагивающих неудовлетворенность сотрудников: около 13% работников выразили неудовлетворенность уровнем заработной платы; недостаточным вкладом в процесс принятия решений озабочены 11% сотрудников; ограничения в свободе принятия решений беспокоят 8% человек; вопросы единства и сплоченности коллектива беспокоят 16,8% персонала; 22,5% работников указали на отсутствие полного доверия к коллегам; 19,1% сотрудников ощущают недостаток признания и ценности их вклада от коллег.

Исходя из этого, становится очевидной необходимость в совершенствовании механизмов мотивации внутри организации.

Результаты исследований. В рамках совершенствования системы мотивации и стимулирования персонала на предприятии был разработан проект: «Совершенствование

системы мотивации и стимулирования персонала на предприятии». Основной целью данного проекта является разработка новой системы мотивации для сотрудников конкретной компании.

Были определены сроки реализации проекта, начало 1 июля 2025 года – окончание 31 декабря 2025 года, этапы реализации проекта, создана организационная структура проекта, проведено обоснование экономической эффективности проекта.

В проекте представлены следующие этапы внедрения системы мотивации и стимулирования персонала на предприятии:

На первом этапе предусмотрено повышение роли методов организационно-административного управления.

Работа на этом этапе включает в себя следующие ключевые задачи:

- Проведение анонимного анкетирования для определения потребностей сотрудников;
- Установление соответствия целей персонала целям компании;
- Разработка планов развития карьеры для сотрудников.

Результатом работы на первом этапе является:

1. Разработка Положения о карьере.

Данное положение определяет:

- основные принципы управления карьерой организации;
- инструменты, используемые для управления карьерой;
- порядок индивидуального развития сотрудника организации.

Основные цели этого документа заключаются в следующем:

- совершенствование процесса управления карьерным развитием сотрудников;
- упорядочение, детализация и конкретизация методов карьерного менеджмента;
- разработка поэтапной схемы карьерного управления и назначение ответственных лиц за выполнение каждого шага.

2. Разработка программы обучения персонала.

Для успешной реализации учебной программы важно учитывать цели, интересы и потребности всех участников обучения, а также специфику материала обучения.

3. Совершенствование документов об оплате труда и документов о премировании.

В целях улучшения четкости системы вознаграждения и придания ей стимулирующего действия предлагается следующее:

- Привязать возможность начисления бонусов к специфическим внутренним показателям работы организации;
- Регулярно, на ежеквартальной основе, распространять информацию о деятельности организации среди всех сотрудников - демонстрация ключевой информации о деятельности организации в публичном формате;
- Осуществлять выплату ежеквартальных бонусов по мере достижения критериев развития организации.
- Внедрение предлагаемого механизма премирования работников исследуемого предприятия.

Второй этап предусматривает развитие социальной политики организации.

Результатом работы на втором этапе является: внедрение предложенного социального пакета работников предприятия.

Третий этап предусматривает расширение использования социально-психологических факторов в стимулировании персонала.

Результатом работы на третьем этапе являются разработанные мероприятия, направленные на сплочение коллектива:

- Компания стремится к улучшению рабочей обстановки и заботится о своих сотрудниках. Одним из шагов в этом направлении является создание комфортной комнаты отдыха, где сотрудники могут

расслабиться и отдохнуть в перерывах между работой.

- Помимо этого, для поощрения активного образа жизни сотрудников, компания организует коллективные занятия спортом по выходным. Это не только способ поддержать физическое здоровье сотрудников, но и укрепить командный дух коллектива.

– Для более полноценного отдыха и отрыва от рабочей рутины, компания организует выезды на базу отдыха два раза в год. Это позволяет сотрудникам насладиться природой, провести время на свежем воздухе и укрепить взаимоотношения в коллективе.

– Организация корпоративов позволяет сотрудникам отвлечься от повседневных забот, отметить важные события и провести время в неформальной обстановке, укрепляя взаимоотношения в коллективе.

Так же, разработан календарный план создания эффективной системы мотивации персонала на предприятии.

Выводы. Таким образом, подводя итоги проведенного исследования, можно сделать выводы, что данный проект, по нашему мнению, поможет не только решить уже существующие проблемы, но и будет способствовать созданию долгосрочной стратегии мотивации, способной адаптироваться к изменениям в рамках самой организации. Предполагается, что внедрение предложенных решений приведет к значительным позитивным изменениям в корпоративной культуре и эффективности работы персонала.

Список источников

1. Карташова Л.В. Организационное поведение: Учебное пособие / Л.В. Карташова. – М.: ИНФРА-М, 2018. – 157 с.
2. Корзенко Н.И. Стимулирование и мотивация труда в организации / Н.И. Козенко // Вестник ЧелГУ. – 2019. – № 1. – С. 114-119.
3. Лукьянова Т.В. Управление персоналом. Теория и практика. Управление инновациями в кадровой работе / Т.В. Лукьянова и др. – М.: Проспект, 2019. – 272 с.
4. Романовская Е.В. Теоретические аспекты трудовой мотивации / Е.В. Романовская, Н.А. Бакулина // В сборнике: Математика и математическое моделирование. Сборник материалов XIII Всероссийской молодежной научно-инновационной школы. – 2019. – С. 166-167.

References

1. Kartashova, L.V. Organizational behavior: A tutorial / L.V. Kartashova. – M.: INFRA-M, 2018. – 157 p.
2. Korzenko, N.I. Stimulation and motivation of labor in the organization / N.I. Kozenko // Bulletin of ChelSU. – 2019. – No. 1 – P. 114-119.
3. Lukyanova T.V. Personnel management. Theory and practice. Innovation management in personnel work / T.V. Lukyanova et al. – M.: Prospect, 2019. – 272 p.

4. Romanovskaya, E.V. Theoretical aspects of labor motivation / E.V. Romanovskaya, N.A. Bakulina // In the collection: Mathematics and mathematical modeling. Collection of materials of the XIII All-Russian youth scientific and innovative school. – 2019. – P. 166-167.

Статья поступила в редакцию 03.09.2024

Информация об авторах

Протасов Виктор Владимирович, к.э.н., доцент кафедры «Социально-экономических и педагогических дисциплин» Стахановского инженерно-педагогического института (филиала) «Луганского государственного университета имени Владимира Даля», г. Стаханов.
E-mail: vvp3155@gmail.com

Information about the authors

Protasov Viktor Vladimirovich, Associate Professor of the Department of "Socio-Economic and Pedagogical Disciplines" of the Stakhanov Engineering and Pedagogical Institute (branch) of the "Vladimir Dahl Luhansk State University", Stakhanov.
E-mail: vvp3155@gmail.com

Задохина Анна Андреевна, студентка магистратуры кафедры Социально-экономических и педагогических дисциплин Стахановского инженерно-педагогического института (филиал) «Луганский государственный университет имени Владимира Даля», г. Стаханов.
E-mail: anihodaz@mail.ru

Zadokhina Anna Andreevna, a graduate student of the Department of Socio-Economic and Pedagogical Disciplines of the Stakhanov Engineering Pedagogical Institute (branch) of the "Lugansk State University named after Vladimir Dahl", Stakhanov.
E-mail: anihodaz@mail.ru

Для цитирования:

Протасов В.В., Задохина А. А. Совершенствование системы мотивации и стимулирования на предприятии // Вестник Луганского государственного университета имени Владимира Даля. – 2024. – № 11 (89). – С. 98-103.

For citation:

Protasov V. V., Zadokhina A.A. Improving the motivation and incentive system at the enterprise // Vestnik of Lugansk State University named after Vladimir Dahl. – 2024. – № 11(89). – P. 98-103.

УДК 336.6

КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К ПРИМЕНЕНИЮ ФИНАНСОВЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ ПРИ ОЦЕНКЕ КРЕДИТОСПОСОБНОСТИ КОМПАНИИ

Протасов В. В., Черненко А. В.

AN INTEGRATED APPROACH TO THE APPLICATION OF FINANCIAL COEFFICIENTS IN ASSESSING THE CREDITWORTHINESS OF A COMPANY

Protasov V. V., Chernenko A. V.

Аннотация. В статье рассматривается комплексный подход к оценке кредитоспособности предприятия на основе ключевых финансовых коэффициентов. Анализируются показатели ликвидности, финансовой устойчивости, рентабельности и покрытия долга, а также их взаимосвязь. Особое внимание уделено интерпретации отклонений от нормативных значений и их влиянию на финансовую стабильность компании. Проведен анализ кредитоспособности компании ООО «Газпром добыча Надым».

Ключевые слова: предприятие, финансовые коэффициенты, оценка, кредитоспособность.

Abstract. The article considers a comprehensive approach to assessing the creditworthiness of an enterprise based on key financial coefficients. The indicators of liquidity, financial stability, profitability and debt coverage are analyzed, as well as their relationship. Special attention is paid to the interpretation of deviations from regulatory values and their impact on the financial stability of the company. An analysis of the creditworthiness of Gazprom Dobycha Nadym LLC has been carried out.

Key words: enterprise, financial ratios, valuation, creditworthiness.

Введение. В настоящее время в области банковского кредитования одной из самых востребованных услуг является кредитование предприятий. Большинству как российских, так и зарубежных предприятий привлечение заемных средств позволяет осуществлять новые проекты, не извлекая средств из оборота, наращивать капитал, увеличивать масштабы своей деятельности.

«В настоящее время существует множество методик определения кредитоспособности, но ни одну из них нельзя назвать наиболее эффективной. Поэтому каждый банк использует различные способы и комбинирует разные методики, а также совершенствует их под особенности конкретного банка на основе оценки внутренних и внешних факторов. Необходимо учитывать особенности каждого заёмщика в конкретной ситуации, а также оценивать характеристики, их приоритетность и количество показателей» [1].

Постановка задачи. Рассмотреть финансовые коэффициенты, используемые для оценки кредитоспособности предприятия. Провести оценку кредитоспособности конкретного предприятия, используя рассмотренные показатели.

Цель работы. Используя финансовые коэффициенты, провести оценку кредитоспособности компании ООО «Газпром добыча Надым».

Методика исследований. Для оценки кредитоспособности компании ООО «Газпром добыча Надым» нами были использованы и рассчитаны показатели его финансового состояния.

Результаты исследований. Для оценки кредитоспособности используются финансовые коэффициенты, качественные критерии и анализ денежных потоков.

Рассмотрим финансовые коэффициенты, необходимые для оценки кредитоспособности предприятия, и первыми рассмотрим

коэффициенты ликвидности, то есть оценку краткосрочной платежеспособности.

1. Коэффициент текущей ликвидности = $\frac{\text{Оборотные активы}}{\text{Краткосрочные обязательства}}$. Норма: 1,5–2,5.

Отражает способность компании погасить текущие обязательства за счет оборотных активов. Значение ниже 1,0: компания не может покрыть текущие долги, высокий риск банкротства. 1,5–2,5: оптимальный диапазон, показывает баланс между ликвидностью и эффективным использованием средств. Выше 3,0: избыток оборотных средств, которые можно было бы инвестировать в развитие.

2. Коэффициент быстрой ликвидности = $\frac{(\text{Денежные средства} + \text{Краткосрочные финансовые вложения} + \text{Дебиторская задолженность})}{\text{Краткосрочные обязательства}}$. Норма: 0,7–1.

Показывает способность погасить обязательства без учета запасов, которые сложно быстро реализовать. Значение ниже 0,7: недостаток высоколиквидных активов для покрытия срочных долгов. 0,7–1,0: компания может оперативно рассчитаться по обязательствам. Выше 1,0: избыточная осторожность в управлении ликвидностью.

3. Коэффициент абсолютной ликвидности = $\frac{(\text{Денежные средства} + \text{Краткосрочные финансовые вложения})}{\text{Краткосрочные обязательства}}$. Норма: 0,2–0,5.

Демонстрирует, какая часть краткосрочных обязательств может быть погашена немедленно. Значение ниже 0,2: риск кассовых разрывов, неспособность реагировать на срочные платежи. 0,2–0,5: оптимальный запас абсолютной ликвидности. Выше 0,5: чрезмерные денежные резервы, которые можно использовать более эффективно.

Далее рассмотрим коэффициенты финансовой устойчивости для оценки структуры капитала.

1. Коэффициент автономии = $\frac{\text{Собственный капитал}}{\text{Активы}}$. Норма: >0,5.

Показывает долю активов, финансируемых за счет собственных средств. Значение ниже 0,3: высокая зависимость от заемных средств, риск потери контроля. 0,5–0,7: оптимальное соотношение собственного и заемного капитала. Выше 0,7: консервативная финансовая политика, возможен неиспользованный кредитный потенциал.

2. Коэффициент финансового левериджа = $\frac{\text{Заемный капитал}}{\text{Собственный капитал}}$. Норма: <1.

Отражает соотношение между заемными и собственными средствами. Значение ниже 0,5: низкий финансовый риск, но ограниченные возможности роста. 0,5–1,0: сбалансированный подход к финансированию. Выше 1,0: высокая долговая нагрузка, риск неплатежеспособности.

3. Коэффициент покрытия активов = $\frac{(\text{Активы} - \text{Нематериальные активы} - \text{Краткосрочные обязательства})}{\text{Обязательства}}$. Норма: >1,5.

Показывает обеспеченность долгов материальными активами. Значение ниже 1,0: недостаточное обеспечение обязательств. 1,5–2,0: достаточная защита кредиторов. Выше 2,0: консервативная политика управления активами.

Рассмотрим коэффициенты рентабельности, то есть способности обслуживать долг.

1. Рентабельность продаж (ROS) = $\frac{\text{Чистая прибыль}}{\text{Выручка}}$. Норма: Отраслевая (2–20%).

Показывает, сколько прибыли получает компания с каждого рубля выручки. Значение ниже отраслевой нормы: низкая эффективность операционной деятельности. Соответствует норме: стабильная работа. Выше нормы: высокая конкурентоспособность и эффективность.

2. Рентабельность активов (ROA) = $\frac{\text{Чистая прибыль}}{\text{Активы}}$. Норма: 5–15%.

Отражает эффективность использования всех активов компании. Значение ниже 5%: низкая отдача от инвестиций в активы. 5–15%: оптимальное использование ресурсов. Выше 15%: высокая эффективность управления активами.

3. Рентабельность собственного капитала (ROE) = $\frac{\text{Чистая прибыль}}{\text{Собственный капитал}} \times 100\%$. Норма: 10–20%.

Показывает доходность для владельцев бизнеса. Значение ниже 10%: низкая привлекательность для инвесторов. 10–20%: оптимальная доходность. Выше 20%: высокая эффективность использования капитала.

Также рассмотрим коэффициенты покрытия долга.

1. Коэффициент покрытия процентов = $\frac{\text{EBIT}}{\text{Проценты по кредитам}}$. Норма: >3.

Показывает, сколько раз прибыль покрывает процентные платежи. Значение ниже 1,5: критический уровень, риск дефолта. 3,0–

5,0: комфортный уровень обслуживания долга. Выше 5,0: избыточная финансовая устойчивость.

2. Коэффициент DSCR = Чистый операционный доход / Обслуживание долга. Норма: >1,2.

Отражает способность генерировать денежный поток для обслуживания долга. Значение ниже 1,0: отрицательный денежный поток, невозможность погашения долга. 1,2–1,5: достаточный уровень покрытия. Выше 1,5: высокая надежность заемщика.

Финансовые показатели существенно варьируются в зависимости от отрасли, что обусловлено особенностями бизнес-моделей, капиталоемкостью и цикличностью деятельности.

Также для финансовых показателей необходим комплексный подход к оценке. Взаимосвязь показателей не менее важна для оценки кредитоспособности компании, например, высокий ROE при растущем левеидже является признаком рискованной стратегия, а улучшение оборачиваемости при снижении рентабельности — это признак ценового демпинга. Для понимания сути комплексного подхода рассмотрим матрицу анализа (табл. 1).

Таблица 1

Матрица анализа

Группа показателей	Оптимальное сочетание	Тревожные сигналы
Ликвидность + Рентабельность	Высокая ликвидность + стабильная ROS	Рост ликвидности за счет падения инвестиций
Долговая нагрузка + ROA	Умеренный левеидж + растущий ROA	Рост долга при падающей ROA

Таким образом анализ финансовых коэффициентов кредитоспособности компании демонстрирует их ключевую роль в оценке финансового здоровья предприятия и его способности обслуживать заемные обязательства. Коэффициенты ликвидности показывает баланс между доступом к ликвидным активам и эффективным использованием ресурсов, коэффициенты финансовой устойчивости показывают самодостаточность и надежность компании, показатели рентабельности указывают на

процессы распределения ресурсов компании, а покрытие долга указывают генерацию денег для обслуживания долга.

Теперь на примере компании «Газпром добыча Надым» рассчитаем перечисленные выше показатели, исходя из ее отчетности за 2024 год.

Начнем с расчета коэффициента текущей ликвидности, согласно формуле:

$$K_{\text{тл}} = \frac{\text{Оборотные активы}}{\text{Краткосрочные обязательства}} = \frac{57315044}{61998068} = 0,92.$$

Рассчитанное значение ниже нормы, что говорит о том, что компания испытывает недостаток ликвидности для покрытия текущих обязательств.

Коэффициент быстрой ликвидности рассчитывается по формуле:

$$K_{\text{тл}} = \frac{\text{Оборотные активы} - \text{Запасы}}{\text{Краткосрочные обязательства}} = \frac{57315044 - 5272483}{61998068} = 0,84.$$

Значение ниже 1 указывает на риски погашения обязательства без учета запасов.

Коэффициент абсолютной ликвидности равен:

$$K_{\text{ал}} = \frac{\text{Денежные средства}}{\text{Краткосрочные обязательства}} = \frac{180}{61998068} = 0.$$

Крайне низкое значение, что говорит о том факте, что компания почти не имеет свободных денег для срочных платежей.

Рассчитаем коэффициент автономии:

$$K_{\text{авт}} = \frac{\text{Собственный капитал}}{\text{Активы}} = \frac{31130934}{104544332} = 0,3 = 30\%$$

Только 30% активов финансируются за счет собственных средств, что указывает на высокую зависимость от заемного капитала.

Коэффициент финансового левеиджа согласно расчетной формуле равен:

$$K_{\text{фл}} = \frac{\text{Заемный капитал}}{\text{Собственный капитал}} = \frac{61998068 + 11415330}{31130934} = 2,36.$$

Высокий левеидж свидетельствует о том, что компания активно использует заемные средства, что увеличивает финансовые риски.

Коэффициент покрытия активов равен:

$$K_{\text{па}} = \frac{\text{Активы} - \text{Нематериальные активы}}{\text{Обязательства}} = \frac{104544332 - 512081}{61998068 + 11415330} = 1,42.$$

Значение выше единицы означает, что активы покрывают обязательства, но с небольшим запасом.

Рентабельность продаж (ROS) равна:

$$ROS = \frac{\text{Чистая прибыль}}{\text{Выручка}} \cdot 100\% = \frac{2726111}{310554351} \cdot 100\% = 0,88\%.$$

Низкая рентабельность, хотя норма для отрасли: 5–10%. Компания работает с минимальной прибылью.

Рентабельность активов (ROA) равна:

$$ROA = \frac{\text{Чистая прибыль}}{\text{Активы}} \cdot 100\% = \frac{2726111}{104544332} \cdot 100\% = 2,61\%.$$

Значение свидетельствует о низкой эффективности использования активов.

Рентабельность собственного капитала (ROE) равна:

$$ROE = \frac{\text{Чистая прибыль}}{\text{Собственный капитал}} \cdot 100\% = \frac{2726111}{31130934} \cdot 100\% = 8,76\%.$$

Приемлемое значение, но ниже среднерыночного, которое обычно равняется 15–20% по отрасли.

Коэффициент покрытия процентов равен:

$$ICR = \frac{EBIT}{\text{Проценты к уплате}} = \frac{4793751+536363}{536363} = 9,94.$$

Как мы видим, компания легко покрывает процентные платежи.

Для конечного определения кредитоспособности предприятия кратко опишем саму компанию.

В составе предприятия 13 действующих газовых промыслов, 14 специализированных филиалов. Ежегодный объем добычи природного газа — более 100 млрд куб. м.

Свое развитие ООО «Газпром добыча Надым» связывает с освоением Бованенковского, Харасавэйского и Крузенштернского месторождений на полуострове Ямал.

«Опорное месторождение ямальского центра газодобычи и крупнейшее на полуострове Ямал. Его запасы составляют около 4,9 трлн куб. м газа, проектный объем добычи — 115 млрд куб. м в год. Разработка месторождения обеспечивается тремя газовыми промыслами: первый введен в эксплуатацию в 2012 году, второй — в 2014 году, третий — в 2018 году» [2].

«На месторождениях Общества, расположенных в Надым Пур-Тазовском

регионе, — Медвежье НГКМ, Юбилейное НГКМ, Ямсовейское НГКМ — наблюдается естественное падение добычи, обусловленное высоким уровнем выработки. Сегодня на территории этих месторождений ведутся геологоразведочные работы: недавно на территории Медвежьего было открыто еще одно месторождение — Падинское (ачимовские отложения, средняя глубина скважин равна 3500 метрам). Кроме того, после сейсмических разведочных работ обнаружен надсеноманский газ. До 2020 года на Медвежьем НГКМ будет проведена реконструкция. Аналогичная работа ведется на Юбилейном и Ямсовейском месторождениях [3].

Таким образом, комплексная оценка кредитоспособности предприятия представлена в табл. 2.

Таблица 2

**Комплексная оценка кредитоспособности
ООО «Газпром добыча Надым»**

Группа показателей	Оценка
Ликвидность	Критически низкая. Компания не готова к срочным платежам
Финансовая устойчивость	Высокая долговая нагрузка (леверидж 2,36). Зависимость от кредиторов
Рентабельность	Низкая эффективность (ROS 0,88%, ROA 2,61%)
Покрытие долга	Хорошее покрытие процентов (ICR 9.94), но DSCR требует уточнения

Выводы. Одобрение кредита компании возможно только под высокие гарантии, например через залог активов из-за низкой ликвидности и высокой долговой нагрузки. Условия краткосрочные, также возможна повышенная ставка.

Мониторинг исходит из контроля выполнения плана по снижению кредиторской задолженности.

Компании необходимо увеличить оборотный капитал за счет рефинансирования долга и оптимизировать затраты для роста ROS.

Таким образом, компания «Газпром добыча Надым» имеет ограниченную кредитоспособность из-за дефицита ликвидности, высокого левериджа и низкой рентабельности (ROS 0.88%).

Кредитный рейтинг: ВВ (спекулятивный уровень, высокий риск).

Список источников

1. Быкова Н.Н. Основные методы анализа кредитоспособности заёмщика [Электронный ресурс] // Гуманитарные научные исследования. – 2017. – № 2. – URL: <https://human.snauka.ru/2017/02/21757> (дата обращения: 16.04.2024).
2. Месторождения [Электронный ресурс] // Газпром добыча Надым. URL: <https://nadymdobycha.gazprom.ru/about/fields/>.
3. Путеводитель [Электронный ресурс] // Газпром добыча Надым. – URL: <https://nadymdobycha.gazprom.ru>.
4. Годовая бухгалтерская отчетность ООО «Газпром добыча Надым» за 2024 год: внутренний документ. – Надым, 2025. – 45 с.
5. Аудиторское заключение независимого аудитора к годовой бухгалтерской отчетности ООО «Газпром добыча Надым» за 2024 год / ООО «Финансовые и бухгалтерские консультанты». – 2025. – 11 с.
6. Бригхем Ю., Хьюстон Дж. Финансовый менеджмент. – 10-е изд. – СПб.: Питер, 2020. – 880 с.
7. Савицкая Г.В. Анализ хозяйственной деятельности предприятия. – 7-е изд. – М.: Инфра-М, 2022. – 536 с.
8. Положение Банка России № 492-П «О порядке формирования кредитными организациями резервов на возможные потери по ссудам» (2021).
9. Altman E.I. Financial Ratios, Discriminant Analysis and the Prediction of Corporate Bankruptcy // Journal of Finance. – 1968. – Vol. 23, № 4. – P. 589-609.
10. Damodaran A. Investment Valuation: Tools and Techniques for Determining the Value of Any Asset. – 3rd ed. – Wiley, 2022. – 992 p.

Информация об авторах

Протасов Виктор Владимирович к.э.н., доцент кафедры «Электромеханика и транспортные системы» Стахановского инженерно-педагогического института (филиала) Луганского государственного университета имени Владимира Даля, г. Стаханов.
E-mail: vvp3155@gmail.com

Черненко Артем Валерьевич, студент магистратуры кафедры «Социально-экономические и педагогические дисциплины» Стахановского инженерно-педагогического института (филиал) Луганского государственного университета имени Владимира Даля, г. Стаханов.
E-mail: sotikmail@mail.ru

References

1. Bykova N.N. Basic methods of analyzing the borrower's creditworthiness [Electronic resource] // Humanitarian scientific research. 2017. No. 2. URL: <https://human.snauka.ru/2017/02/21757> (date of access: 04/16/2024).
2. Deposits. [Electronic resource] // Gazprom dobycha Nadym. – URL: <https://nadymdobycha.gazprom.ru/about/fields/>.
3. The travel guide [Electronic resource] // Gazprom dobycha Nadym. URL: <https://nadymdobycha.gazprom.ru>.
4. Annual accounting statements of Gazprom Dobycha Nadym LLC for 2024: an internal document. – Nadym, 2025. – 45 p.
5. Independent auditor's report on the annual accounting statements of Gazprom Dobycha Nadym LLC for 2024 / Financial and Accounting Consultants LLC. – 2025. – 11 p.
6. Brigham Y., Houston J. Financial management. – 10th ed. – St. Petersburg: Peter, 2020. – 880 p.
7. Savitskaya G.V. Analysis of the economic activity of the enterprise. – 7th ed. – Moscow: Infra-M, 2022. – 536 p.
8. Regulation of the Bank of Russia No. 492-P "On the Procedure for the Formation of Reserves by Credit Institutions for Possible Loan Losses" (2021).
9. Altman E.I. Financial Ratios, Discriminant Analysis and the Prediction of Corporate Bankruptcy // Journal of Finance. – 1968. – Vol. 23, № 4. – P. 589-609.
10. Damodaran A. Investment Valuation: Tools and Techniques for Determining the Value of Any Asset. – 3rd ed. – Wiley, 2022. – 992 p.

Статья поступила в редакцию 20.09.2024

Information about the author

Protasov Viktor Vladimirovich, Associate Professor of the Department of "Electromechanics and transport systems" of the Stakhanov Engineering and Pedagogical Institute (branch) of the Vladimir Dahl Luhansk State University, Stakhanov.
E-mail: vvp3155@gmail.com

Chernenko Artem Valerievich, a graduate student of the Department of Socio-Economic and Pedagogical Disciplines of the Stakhanov Engineering Pedagogical Institute (branch) Lugansk State University named after Vladimir Dahl, Stakhanov.

E-mail: sotikmail@mail.ru

Для цитирования:

Протасов В. В., Черненко А. В. Комплексный подход к оценке финансовых коэффициентов оценки кредитоспособности компании // Вестник Луганского государственного университета имени Владимира Даля. – 2024. – № 11(89). – С. 104-109.

For citation:

Protasov V. V., Chernenko A. V. An integrated approach to assessing the financial coefficients of assessing the creditworthiness of a company // Vestnik of Lugansk State University named after Vladimir Dahl. – 2024. – № 11(89). – P. 104-109.

УДК 532.5

КАСАТЕЛЬНОЕ НАПРЯЖЕНИЕ ПРИ НЕСТАЦИОНАРНОМ ЖИДКОСТНОМ ТРЕНИИ

Соколов В. И.

SHEARING STRESS AT NONSTATIONARY FLUID FRICTION

Sokolov V. I.

Аннотация. Рассмотрено нестационарное плоское ламинарное движение несжимаемой жидкости в зазоре между подвижным и неподвижным элементами в декартовой системе координат. Решение уравнения движения в частных производных выполнено с применением преобразования Лапласа. В операторной форме получена зависимость для касательного напряжения при нестационарном жидкостном трении. Определены передаточные функции для касательного напряжения по скорости подвижного элемента и градиенту давления. На основе анализа амплитудно-частотных характеристик установлены границы квазистационарного подхода для расчета сил нестационарного вязкого трения на подвижных элементах гидравлических устройств. Получены аппроксимационные передаточные функции для нестационарного касательного напряжения, позволяющие установить связь между оригиналами в виде обыкновенных линейных дифференциальных уравнений. Предложена зависимость для касательного напряжения при нестационарном жидкостном трении, которая учитывает ускорение движущейся поверхности, что позволяет повысить точность расчета динамических характеристик гидравлических систем.

Ключевые слова: жидкостное трение, касательное напряжение, уравнение движения, преобразование Лапласа, передаточная функция

Abstract. The important parameter in the calculation of hydromechanical processes is the force of viscous fluid friction, which is characterized by shearing stress arising in the working environment, which comes into contact with the surface of the moving element of the actuator, control, distribution or auxiliary hydraulic device. In the presence of a gap between the surfaces of the elements, the shearing stresses occur during the relative motion of these surfaces and the movement of the medium under the influence of the pressure drop. Traditional approaches to the construction of mathematical models of nonstationary hydromechanical processes are largely based on the fact that real flows are replaced by a sequence of time-varying flows with a quasi-stationary distribution of hydrodynamic quantities over the section. This allows you to enter into the calculation of the coefficients and characteristics obtained for stationary flows. In fact, the structure of the nonstationary flow differs from the quasi-stationary one, and it is not always known how and under what conditions such a difference can affect the change of hydrodynamic characteristics. Therefore, the nonstationary plane laminar motion of incompressible fluid in the gap between the moving and a fixed elements in the Cartesian coordinate system is considered. The solution of the equation of motion in partial derivatives is fulfilled using the Laplace transform. The dependence in the operator form for the shearing stress for nonstationary fluid friction is obtained. The transfer functions for the shearing stress of the velocity of the moving element and the pressure gradient are determined. Based on the analysis of amplitude-frequency characteristics, the boundaries of a quasi-stationary approach are established for calculating the forces of nonstationary viscous friction on the moving elements of hydraulic devices. The solution of the equation of motion in partial derivatives is fulfilled using the Laplace transform. The approximate transfer functions for the nonstationary shearing stress are obtained, which allow to establish the connection between the originals in the form of ordinary linear differential equations. The dependence for the shearing stress under nonstationary fluid friction is proposed, which takes into account the moving surface acceleration, which makes it possible to increase the accuracy of calculating the dynamic characteristics for hydraulic systems.

Key words: fluid friction, shearing stress, equation of motion, Laplace transform, transfer function.

Введение. Наиболее трудным и ответственным этапом в расчетах и разработке новых элементов и устройств, машин и механизмов, приводов и систем управления является построение математических моделей нестационарных рабочих процессов, протекающих в них [1-5]. Очень важно не допустить чрезмерного неоправданного усложнения математических моделей, поскольку они могут оказаться непригодными в практическом использовании. Вместе с тем, пренебрежение явлениями, которые существенно влияют на рабочие процессы, может сделать модель слишком грубой, не обеспечивающей требуемой точности, а также не отражающей основных особенностей протекающих процессов.

Важным параметром в расчетах гидромеханических процессов является сила вязкого жидкостного трения, которая характеризуется касательным напряжением, возникающим в рабочей среде, соприкасающейся с поверхностью подвижного элемента исполнительного, регулирующего или распределительного гидравлического устройства [6-10]. При наличии зазора между поверхностями элементов касательные напряжения возникают при относительном движении этих поверхностей и движения среды под воздействием перепада давления.

Традиционные подходы [11-15] к построению математических моделей нестационарных гидромеханических процессов большей частью основаны на том, что реальные потоки заменяются сменяющейся во времени последовательностью потоков с квазистационарным распределением гидродинамических величин по живому сечению. Это позволяет вводить в расчет коэффициенты и характеристики, полученные для стационарных потоков. В действительности структура нестационарных течений отличается от квазистационарной [16-20], причем не всегда известно, как и при каких условиях такое отличие может повлиять на изменение гидродинамических характеристик.

В реальных устройствах величина зазора мала так, что течение рассматривается как ламинарное плоское между параллельными стенками (рис. 1), а распределение скорости (рис. 2) имеет вид [14]

$$\frac{u}{u_0} = \frac{\delta^2}{2\rho\nu} \frac{dp}{dx} \frac{y}{\delta} \left(1 - \frac{y}{\delta}\right) + \frac{y}{\delta}, \quad (1)$$

где x, y – координаты; u – скорость движения жидкости в зазоре; u_0 – скорость движения подвижного элемента (или относительная скорость движения поверхностей); δ – размер зазора; dp/dx – градиент давления; ρ, ν – плотность и кинематическая вязкость среды.

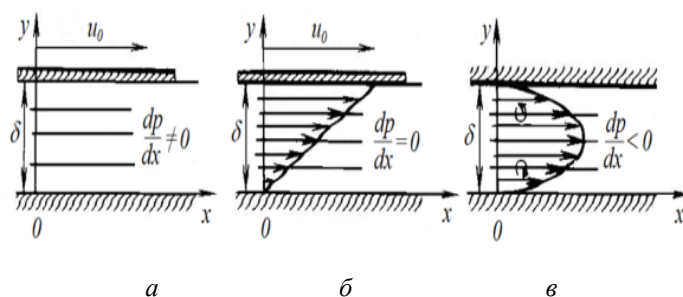


Рис. 1. Ламинарное течение между параллельными плоскостями:

a – схема течения; b – распределение скоростей при отсутствии градиента давления (течение Куэтта); v – распределение скоростей при неподвижных граничных плоскостях (течение в плоском канале)

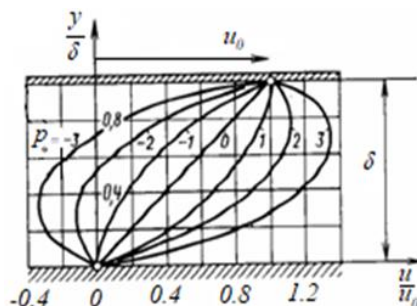


Рис. 2. Безразмерные профили скорости между параллельными стенками ($p_* = -(dp/dx)\delta^2/2\rho\nu u_0$)

Расчет касательного напряжения τ выполняется на основании распределения скорости (1) согласно закону вязкого трения Ньютона [8, 14].

$$\tau = \rho \nu \frac{du}{dy}. \quad (2)$$

Целью работы является получение зависимостей для расчета касательного напряжения при нестационарном жидкостном трении с учетом инерционности изменения структуры потока в зазоре, а также оценка границ квазистационарного подхода для расчета сил нестационарного вязкого трения на подвижных элементах гидравлических устройств.

Материалы и результаты исследования.

Пусть скорость движения подвижного элемента (или относительная скорость движения поверхностей) является нестационарной

$$u_0 = V(t). \quad (3)$$

Тогда, при квазистационарном подходе касательное напряжение на подвижной поверхности (квазистационарное касательное напряжение) с учетом (1)

$$\tau_{qs}^0 = \rho \nu \frac{du}{dy} = -\frac{\delta}{2} \frac{dp}{dx} + \frac{\rho \nu}{\delta} V(t), \quad (4)$$

которое без учета градиента давления определяется хорошо известной зависимостью [5, 11]

$$\tau_{qs}^0 = \frac{\rho \nu}{\delta} V(t). \quad (5)$$

Преобразуем (4) по Лапласу [8, 11] и устанавливаем передаточные функции для квазистационарного касательного напряжения по скорости подвижного элемента и градиенту давления

$$W_{\tau V, qs}(s) = \frac{\tau_{qs}^0(s)}{V(s)} = k_{\tau V}, \quad (6)$$

$$W_{\tau p, qs}(s) = \frac{\tau_{qs}^0(s)}{\frac{dp}{dx}(s)} = k_{\tau p}, \quad (7)$$

где s – переменная Лапласа; коэффициенты передач $k_{\tau V} = \rho \nu / \delta$, $k_{\tau p} = -\delta / 2$.

С целью получения передаточных функций для касательного напряжения, учитывающих

влияние инерционности структуры потока, рассмотрим нестационарное ламинарное движение несжимаемой жидкости в зазоре между неподвижным и подвижным элементами в декартовой системе координат (рис.1). Допуская течение плоским, уравнение движения жидкости представим в известном виде [14]

$$\frac{\partial u}{\partial t} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \nu \frac{\partial^2 u}{\partial y^2}. \quad (8)$$

Для скорости жидкости u , являющейся функцией времени t и координаты y , определим граничные условия:

$$\begin{cases} u = 0, & y = 0; \\ u = V(t), & y = \delta. \end{cases} \quad (9)$$

Для упрощения математических выкладок сделаем замену переменных

$$z = y - \delta, \quad (10)$$

а также учтем, что для рассматриваемого течения

$$\frac{\partial p}{\partial x} = \frac{dp}{dx}. \quad (11)$$

С учетом (10, 11) вместо (8, 9) имеем:

$$\frac{\partial u}{\partial t} = -\frac{1}{\rho} \frac{dp}{dx} + \nu \frac{\partial^2 u}{\partial z^2}, \quad (12)$$

$$\begin{cases} u = 0, & z = -\delta; \\ u = V(t), & z = 0. \end{cases} \quad (13)$$

Применяя одномерное преобразование Лапласа при нулевых начальных условиях, получим вместо уравнения (12) в частных производных уравнение в обыкновенных производных

$$\frac{d^2 u(s)}{dz^2} - \frac{s}{\nu} u(s) = \frac{p(s)}{\rho s}, \quad (14)$$

где $u(s)$, $p(s)$ – изображение по Лапласу скорости u и градиента давления dp/dx .

Решение уравнения (14) имеет вид

$$u(s) = A_1 \exp\left(z \sqrt{\frac{s}{\nu}}\right) + A_2 \exp\left(-z \sqrt{\frac{s}{\nu}}\right) - \frac{p(s)}{\rho s}, \quad (15)$$

где A_1, A_2 – постоянные интегрирования.

Касательное напряжение на поверхности подвижного элемента находим согласно закону вязкого трения Ньютона

$$\tau^0(s) = \rho v \left(\frac{\partial u(s)}{\partial y} \right) \Big|_{y=\delta} = \rho v \left(\frac{\partial u(s)}{\partial z} \right) \Big|_{z=0} \quad (16)$$

Подставляя (15) в (16), имеем

$$\tau^0(s) = \rho v \sqrt{\frac{s}{\nu}} (A_1 - A_2). \quad (17)$$

Значение $A_1 - A_2$ определяем, используя граничные условия (13) и полученное решение (15):

$$0 = A_1 \exp\left(-\sqrt{\frac{\delta^2 s}{\nu}}\right) + A_2 \exp\left(\sqrt{\frac{\delta^2 s}{\nu}}\right) - \frac{p(s)}{\rho s}; \quad (18)$$

$$V(s) = A_1 + A_2 - \frac{p(s)}{\rho s}. \quad (19)$$

Умножим (19) на $\exp\left(-\sqrt{\delta^2 s/\nu}\right)$ и вычтем (18), тогда имеем

$$\begin{aligned} V(s) \exp\left(-\sqrt{\frac{\delta^2 s}{\nu}}\right) = & \\ & - 2A_2 \operatorname{sh}\left(\sqrt{\frac{\delta^2 s}{\nu}}\right) + \frac{p(s)}{\rho s} \left(1 - \exp\left(-\sqrt{\frac{\delta^2 s}{\nu}}\right)\right). \end{aligned} \quad (20)$$

Вычитание (18) из (19), умноженного на $\exp\left(\sqrt{\delta^2 s/\nu}\right)$, дает

$$\begin{aligned} V(s) \exp\left(\sqrt{\frac{\delta^2 s}{\nu}}\right) = & \\ & - 2A_1 \operatorname{sh}\left(\sqrt{\frac{\delta^2 s}{\nu}}\right) + \frac{p(s)}{\rho s} \left(1 - \exp\left(\sqrt{\frac{\delta^2 s}{\nu}}\right)\right). \end{aligned} \quad (21)$$

Суммируем (20) и (21)

$$\begin{aligned} 2V(s) \operatorname{ch}\left(\sqrt{\frac{\delta^2 s}{\nu}}\right) = & \\ = 2(A_1 - A_2) \operatorname{sh}\left(\sqrt{\frac{\delta^2 s}{\nu}}\right) + \frac{2p(s)}{\rho s} \left(1 - \operatorname{ch}\left(\sqrt{\frac{\delta^2 s}{\nu}}\right)\right), \end{aligned} \quad (22)$$

откуда получаем

$$A_1 - A_2 = \frac{p(s)}{\rho s} \frac{\operatorname{ch}\left(\sqrt{\frac{\delta^2 s}{\nu}}\right) - 1}{\operatorname{sh}\left(\sqrt{\frac{\delta^2 s}{\nu}}\right)} + V(s) \operatorname{cth}\left(\sqrt{\frac{\delta^2 s}{\nu}}\right). \quad (23)$$

Подставляем (23) в (17)

$$\begin{aligned} \tau^0(s) = & -p(s) \sqrt{\frac{\nu}{s}} \frac{\operatorname{ch}\left(\sqrt{\frac{\delta^2 s}{\nu}}\right) - 1}{\operatorname{sh}\left(\sqrt{\frac{\delta^2 s}{\nu}}\right)} + \\ & + \rho v \sqrt{\frac{s}{\nu}} V(s) \operatorname{cth}\left(\sqrt{\frac{\delta^2 s}{\nu}}\right), \end{aligned} \quad (24)$$

После чего преобразовываем к виду

$$\begin{aligned} \tau^0(s) = & -\frac{\delta}{2} p(s) \frac{2}{\sqrt{\frac{\delta^2 s}{\nu}}} \frac{\operatorname{ch}\left(\sqrt{\frac{\delta^2 s}{\nu}}\right) - 1}{\operatorname{sh}\left(\sqrt{\frac{\delta^2 s}{\nu}}\right)} + \\ & + \frac{\rho v}{\delta} V(s) \left[\sqrt{\frac{\delta^2 s}{\nu}} \operatorname{cth}\left(\sqrt{\frac{\delta^2 s}{\nu}}\right) \right]. \end{aligned} \quad (25)$$

Данное выражение представляет собой нестационарное касательное напряжение на поверхности подвижного элемента в операторной форме. Нетрудно убедиться, что при установившемся течении (25) переходит в (4), поскольку:

$$\lim_{s \rightarrow 0} \left[\frac{2}{\sqrt{\frac{\delta^2 s}{\nu}}} \frac{\operatorname{ch}\sqrt{\frac{\delta^2 s}{\nu}} - 1}{\operatorname{sh}\sqrt{\frac{\delta^2 s}{\nu}}} \right] = 1 \quad (26)$$

$$\lim_{s \rightarrow 0} \left[\sqrt{\frac{\delta^2 s}{\nu}} \operatorname{cth}\sqrt{\frac{\delta^2 s}{\nu}} \right] = 1 \quad (27)$$

Согласно уравнению (25), получаем передаточную функцию для нестационарного касательного напряжения по скорости подвижного элемента

$$W_{\tau V}(s) = \frac{\tau^0(s)}{V(s)} = k_{\tau V} \sqrt{T s} \operatorname{cth} \sqrt{T s}, \quad (28)$$

где $k_{\tau V}$ – коэффициент передачи, введенный согласно выражению (6); $T = \delta^2/\nu$ – постоянная времени.

Рассмотрим безразмерную передаточную функцию

$$\bar{W}_{\tau V}(\bar{s}) = \frac{W_{\tau V}(\bar{s})}{W_{\tau V, KC}(\bar{s})} = \sqrt{\bar{s}} \operatorname{cth} \sqrt{\bar{s}}, \quad (29)$$

где $\bar{s} = sT$ – безразмерная переменная Лапласа. По функции (29) определим амплитудно-частотную характеристику

$$\bar{A}_{\tau V}(\bar{\omega}) = \operatorname{mod}[\bar{W}_{\tau V}(j\bar{\omega})], \quad (30)$$

где $j = \sqrt{-1}$; $\bar{\omega} = \omega T$ – безразмерная частота.

Приведенный на рис. 3 график $\bar{A}_{\tau V}(\bar{\omega})$ показывает, что при $\bar{\omega} < 0.81$ учет нестационарности движения приводит к увеличению амплитуды колебаний касательного напряжения не более, чем на 5%. Поэтому в этом диапазоне для расчета частотных характеристик допустимо использовать квазистационарную передаточную функцию (6). Таким образом, данное значение частоты можно рассматривать как границу квазистационарного подхода для расчета сил вязкого трения при колебаниях подвижного элемента.

Также, по выражению (25) установим передаточную функцию для нестационарного касательного напряжения по градиенту давления

$$W_p(s) = \frac{\tau^0(s)}{p(s)} = k_p \frac{2}{\sqrt{Ts}} \frac{\operatorname{ch} \sqrt{Ts} - 1}{\operatorname{sh} \sqrt{Ts}}, \quad (31)$$

где k_p – коэффициент передачи, введенный согласно выражению (7).

По безразмерной передаточной функции

$$\bar{W}_p(\bar{s}) = \frac{W_p(\bar{s})}{W_{p, KC}(\bar{s})} = \frac{2}{\sqrt{\bar{s}}} \frac{\operatorname{ch} \sqrt{\bar{s}} - 1}{\operatorname{sh} \sqrt{\bar{s}}} \quad (32)$$

определим безразмерную амплитудно-частотную характеристику

$$\bar{A}_{\tau p}(\bar{\omega}) = \operatorname{mod}[\bar{W}_p(j\bar{\omega})]. \quad (33)$$

Приведенный на рис. 4 график $\bar{A}_{\tau p}(\bar{\omega})$ показывает, что при $\bar{\omega} < 3.34$ уменьшение амплитуды колебаний касательного напряжения не превышает 5%. Поэтому в этом диапазоне для расчета частотных характеристик допустимо использовать квазистационарную передаточную функцию (7). Таким образом, данное значение частоты можно рассматривать как границу

квазистационарного подхода для расчета сил вязкого трения при колебаниях давления.

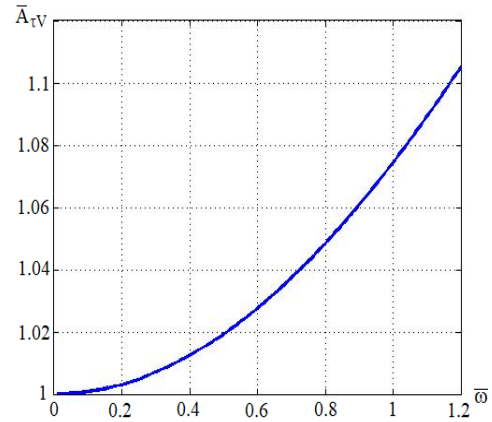


Рис. 3. Безразмерная амплитудно-частотная характеристика касательного напряжения (при колебаниях скорости подвижной поверхности)

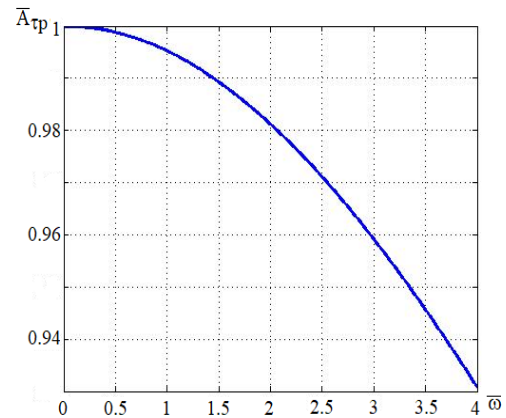


Рис. 4. Безразмерная амплитудно-частотная характеристика касательного напряжения (при колебаниях градиента давления)

Таким образом, при учете нестационарности структуры потока в зазоре для расчета касательного напряжения на подвижной поверхности имеем, в общем случае, следующее операторное уравнение

$$\tau^0(s) = -W_p(s)p(s) + W_{\tau V}(s)V(s). \quad (34)$$

Следует отметить, что хорошее приближение передаточных функций (28, 31) дает их аппроксимация следующими функциями:

$$W_{\tau V}(s) \approx k_{\tau V} (1 + 0.387Ts); \quad (35)$$

$$W_p(s) \approx \frac{k_p}{0.098Ts + 1}; \quad (36)$$

по которым можно установить связь между оригиналами $\tau^0(t)$, $V(t)$, dp/dt в виде линейных дифференциальных уравнений.

Согласно (35) имеем

$$\tau^0(s) = k_{rv}V(s) + 0.387k_{rv}TsV(s). \quad (37)$$

Учитывая, что согласно (6) $k_{rv} = \rho v / \delta$, а согласно (28) $T = \delta^2 / v$, получаем следующее уравнение для касательного напряжения

$$\tau^0(s) = \frac{\rho v}{\delta}V(s) + 0.387\rho\delta sV(s). \quad (38)$$

Выполнив обратное преобразование Лапласа, имеем

$$\tau^0 = \frac{\rho v}{\delta}V(t) + 0.387\rho\delta \frac{dV(t)}{dt}. \quad (39)$$

Сравнение (39) и (5) показывает, что при нестационарном движении в выражении (39) для определения касательного напряжения появляется нестационарная добавка

$$\Delta\tau = 0.387\rho\delta \frac{dV(t)}{dt}. \quad (40)$$

Зависимость для касательного напряжения (39) при нестационарном жидкостном трении учитывает ускорение движущейся поверхности (40), что позволяет повысить точность расчета динамических характеристик гидравлических систем.

Выводы. Таким образом, рассмотрено нестационарное плоское ламинарное движение несжимаемой жидкости в зазоре между подвижным и неподвижным элементами в декартовой системе координат. Решение уравнения движения в частных производных выполнено с применением преобразования Лапласа. В операторной форме получена зависимость для касательного напряжения при нестационарном жидкостном трении. Определены передаточные функции для касательного напряжения по скорости подвижного элемента и градиенту давления.

На основе анализа амплитудно-частотных характеристик установлены границы квазистационарного подхода для расчета сил нестационарного вязкого трения на подвижных элементах гидравлических устройств. Оценка границ квазистационарного подхода к расчету сил нестационарного вязкого трения выполнена по амплитудно-частотным характеристикам при колебаниях подвижного элемента и градиента давления. В качестве границ

квазистационарности приняты частоты, при которых происходит изменение амплитуды более, чем на 5%.

Получены аппроксимационные передаточные функции для нестационарного касательного напряжения, позволяющие установить связь между оригиналами в виде обыкновенных линейных дифференциальных уравнений. Предложена зависимость для касательного напряжения при нестационарном жидкостном трении, которая учитывает ускорение движущейся поверхности, что позволяет повысить точность расчета динамических характеристик гидравлических систем.

Список источников

1. Попов Д.Н. Механика гидро- и пневмоприводов / Д.Н. Попов. – Москва: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2005. – 320 с.
2. Sokolov V. Nonlinear simulation of electrohydraulic drive for technological equipment / V. Sokolov, O. Krol, O. Stepanova // Journal of Physics: Conference Series. – 2019. – Vol. 1278. – 012003.
3. Sokolov V. Modeling of dynamic characteristics for hydraulic drive under nonstationary load / V. Sokolov, O. Krol // E3S Web of Conferences. – 2024. – Vol. 583. – 03017.
4. Dynamic characteristics of rotary motion electrohydraulic drive with volume regulation / V. Sokolov, O. Krol, O. Stepanova, P. Tsankov // Comptes rendus de l'Academie bulgare des Sciences. – 2020. – Vol. 73(5). – P. 691-702.
5. Навроцкий К.Л. Теория и проектирование гидро- и пневмоприводов / К.Л. Навроцкий. – Москва: Машиностроение, 1991. – 384 с.
6. Соколов В.І. Гідравліка / В.І. Соколов, О.С. Кроль, О.В. Єпіфанова. – Северодонецк: ЧНУ ім. В. Даля, 2017. – 160 с.
7. Sokolov, V. Transfer functions for shearing stress in nonstationary fluid friction / V. Sokolov // Proceedings of the 5th International Conference on Industrial Engineering. ICIE 2019. Lecture Notes in Mechanical Engineering. – Cham: Springer, 2020. – Vol. 1. – P. 707-715.
8. Попов Д.Н. Нестационарные гидромеханические процессы / Д.Н. Попов. – Москва: Машиностроение, 1982. – 238 с.
9. Sokolov V. Dynamics research and automatic control of technological equipment with electrohydraulic drive / V. Sokolov, O. Krol, Y. Baturin // 2019 International Russian Automation Conference (RusAutoCon). – IEEE, 2019. – P. 1-6.
10. Sokolov V. Determination of additional braking force for hydraulic cylinder piston / V.

Sokolov // International Conference on Reliable Systems Engineering (ICoRSE) – 2022. Lecture Notes in Networks and Systems. – Cham: Springer, 2023. – Vol. 534. – P. 1–9.

11. Попов Д.Н. Динамика и регулирование гидро- и пневмосистем / Д.Н. Попов. – Москва: Машиностроение, 1987. – 464 с.

12. Sokolov V. Automation of control processes of technological equipment with rotary hydraulic drive // V. Sokolov, Y. Rasskazova // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2016. – Vol. 2(2(80)). – P. 44–50.

13. Sokolov V. Dynamics of positioning process for hydraulic drive output link by distributor with closed center / V. Sokolov // Proceedings of the 7th International Conference on Industrial Engineering (ICIE 2021). Lecture Notes in Mechanical Engineering. – Cham: Springer, 2021. – Vol. 2. – P. 715–723.

14. Емцев Б.Т. Техническая гидромеханика / Б.Т. Емцев. – Москва: Машиностроение, 1987. – 440 с.

15. Sokolov V. Installations criterion of deceleration device in volumetric hydraulic drive / V. Sokolov, O. Krol // Procedia Engineering. – 2017. – Vol. 206. – P. 936–943.

16. Sokolov V. Hydrodynamics of flow in a flat slot with boundary change of viscosity / V. Sokolov // Proceedings of the 6th International Conference on Industrial Engineering. ICIE 2020. Lecture Notes in Mechanical Engineering. – Cham: Springer, 2021. – Vol. 2. – P. 1172–1181.

17. Sokolov V. Determination of transfer functions for electrohydraulic servo drive of technological equipment / V. Sokolov, O. Krol // Advances in Design, Simulation and Manufacturing. DSMIE 2018. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Cham: Springer, 2019. – P. 364–373.

18. Mathematical model for dynamic characteristics of automatic electrohydraulic drive for technological equipment / V. Sokolov, O. Krol, O. Romanchenko [et al.] // Journal of Physics: Conference Series. – 2020. – Vol. 1553. – 012013.

19. Sokolov, V. Choice of correcting link for electrohydraulic servo drive of technological equipment / V. Sokolov, O. Krol, O. Stepanova // Advances in Design, Simulation and Manufacturing II. DSMIE 2019. Lecture Notes in Mechanical Engineering. – Cham: Springer, 2020. – P. 702–710.

20. Sokolov V. Stability assessment of the movement velocity for hydraulic drive output link under variable load conditions / V. Sokolov, O. Krol, P. Tsankov // Proceedings of the 10th International Conference on Industrial Engineering. ICIE 2024. Lecture Notes in Mechanical Engineering. – Cham: Springer, 2024. – P. 153–162.

References

1. Popov, D. N. Mekhanika gidro- i pnevmoprivodov / D.N. Popov. – Moskva: MG TU im. N. E. Bauman, 2005. – 320 s.

2. Sokolov, V. Nonlinear simulation of electrohydraulic drive for technological equipment / V. Sokolov, O. Krol, O. Stepanova // Journal of Physics: Conference Series. – 2019. – Vol. 1278. – 012003.

3. Sokolov, V. Modeling of dynamic characteristics for hydraulic drive under nonstationary load / V. Sokolov, O. Krol // E3S Web of Conferences. – 2024. – Vol. 583. – 03017.

4. Dynamic characteristics of rotary motion electrohydraulic drive with volume regulation / V. Sokolov, O. Krol, O. Stepanova, P. Tsankov // Comptes rendus de l'Academie bulgare des Sciences. – 2020. – Vol. 73(5). – P. 691–702.

5. Navrockij, K.L. Teoriya i proektirovanie gidro- i pnevmoprivodov / K.L. Navrockij. – Moskva: Mashino-stroenie, 1991. – 384 s.

6. Sokolov, V.I. Hidravlika / V.I. Sokolov, O.S. Krol, O.V. Yepifanova. – Sievierodonetsk: SNU im. V. Dalia, 2017. – 160 s.

7. Sokolov, V. Transfer functions for shearing stress in nonstationary fluid friction / V. Sokolov // Proceedings of the 5th International Conference on Industrial Engineering. ICIE 2019. Lecture Notes in Mechanical Engineering. – Cham: Springer, 2020. – Vol. 1. – P. 707–715.

8. Popov, D.N. Nestacionarnye gidromekhanicheskie processy / D.N. Popov. – Moskva: Mashinostroenie, 1982. – 238 s.

9. Sokolov, V. Dynamics Research and Automatic Control of Technological Equipment with Electrohydraulic Drive/ V. Sokolov, O. Krol, Y. Baturin // 2019 International Russian Automation Conference (RusAutoCon). – IEEE, 2019. – P. 1–6.

10. Sokolov, V. Determination of Additional Braking Force for Hydraulic Cylinder Piston / V. Sokolov // International Conference on Reliable Systems Engineering (ICoRSE) – 2022. Lecture Notes in Networks and Systems. – Cham: Springer, 2023. – Vol. 534. – P. 1–9.

11. Popov, D.N. Dinamika i regulirovanie gidro- i pnev-mosistem / D.N. Popov. – Moskva: Mashinostroenie, 1987. – 464 s.

12. Sokolov, V. Automation of control processes of technological equipment with rotary hydraulic drive // V. Sokolov, Y. Rasskazova // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2016. – Vol. 2(2(80)). – P. 44–50.

13. Sokolov, V. Dynamics of Positioning Process for Hydraulic Drive Output Link by Distributor with Closed Center / V. Sokolov // Proceedings of the 7th International Conference on Industrial Engineering (ICIE 2021). Lecture Notes in

Mechanical Engineering. – Cham: Springer, 2021. – Vol. 2. – P. 715–723.

14. Emcev, B.T. Tekhnicheskaya gidromekhanika / B.T. Emcev. – Moskva: Mashinostroenie, 1987. – 440 s.

15. Sokolov, V. Installations criterion of deceleration device in volumetric hydraulic drive / V. Sokolov, O.Krol // Procedia Engineering. – 2017. – Vol. 206. – P. 936–943.

16. Sokolov, V. Hydrodynamics of Flow in a Flat Slot with Boundary Change of Viscosity / V. Sokolov // Proceedings of the 6th International Conference on Industrial Engineering. ICIE 2020. Lecture Notes in Mechanical Engineering. – Cham: Springer, 2021. – Vol. 2. – P. 1172–1181.

17. Sokolov, V. Determination of Transfer Functions for Electrohydraulic Servo Drive of Technological Equipment / V. Sokolov, O. Krol // Advances in Design, Simulation and Manufacturing. DSMIE 2018. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Cham: Springer, 2019. – P. 364–373.

18. Mathematical model for dynamic characteristics of automatic electrohydraulic drive for technological equipment / V. Sokolov, O. Krol, O. Romanchenko [et al.] // Journal of Physics: Conference Series. – 2020. – Vol. 1553. – 012013.

19. Sokolov, V. Choice of Correcting Link for Electrohydraulic Servo Drive of Technological Equipment / V. Sokolov, O. Krol, O. Stepanova // Advances in Design, Simulation and Manufacturing II. DSMIE 2019. Lecture Notes in Mechanical Engineering. – Cham: Springer, 2020. – P. 702–710.

20. Sokolov, V. Stability Assessment of the Movement Velocity for Hydraulic Drive Output Link Under Variable Load Conditions / V. Sokolov, O. Krol, P. Tsankov // Proceedings of the 10th International Conference on Industrial Engineering. ICIE 2024. Lecture Notes in Mechanical Engineering. – Cham: Springer, 2024. – P. 153–162.

Статья поступила в редакцию 19.08.2024

Информация об авторе

Соколов Владимир Ильич, д.т.н., профессор, заместитель директора института строительства, архитектуры и жилищно-коммунального хозяйства Луганского государственного университета имени Владимира Даля, г. Луганск.
E-mail: sokolov.snu.edu@gmail.com

Information about the author

Sokolov Vladimir Il'yich, DSc (Eng), Professor, Deputy Director of the Institute of Construction, Architecture and Housing and Communal Services of the Lugansk Vladimir Dahl State University.
E-mail: sokolov.snu.edu@gmail.com

Для цитирования:

Соколов В. И. Касательное напряжение при нестационарном жидкостном трении // Вестник Луганского государственного университета имени Владимира Даля. – 2024. – № 11(89). – С. 110-117.

For citation:

Sokolov V. I. Shearing stress at nonstationary fluid friction // Vestnik of Lugansk State University named after Vladimir Dahl. – 2024. – № 11(89). – P. 110-117.

УДК 539

ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО РЕЗОНАНСА ТРУБОПРОВОДОВ КАК ОДНОЙ ИЗ ПРИЧИН ПОТЕРИ ИХ УСТОЙЧИВОСТИ И ВИБРАЦИОННОГО РАЗРУШЕНИЯ

Солодовник М. Д., Ясуник С. Н., Волков И. В., Кузнецова М. Н.

PREVENTION OF PARAMETRIC RESONANCE OF PIPELINES AS ONE OF THE CAUSES OF THEIR LOSS OF STABILITY AND VIBRATION DESTRUCTION

Solodovnik M. D., Yasunik S. N., Volkov I. V., Kuznetsova M. N.

Аннотация. Поставлена и решена задача о нахождении частот собственных колебаний трубопроводов с протекающей жидкой средой. Возмущающим источником вынужденных колебаний являются энергетические насосы, работающие в широком диапазоне частот. Найдены участки совпадения собственных и вынужденных колебаний, инициирующих резонанс и разрушение несущих трубных магистралей.

Ключевые слова: транспорт, труба-оболочка, колебания, критические скорости, частота, резонанс, разрушение

Abstract. The problem of finding the natural vibration frequencies of pipelines with a flowing liquid medium is posed and solved. The disturbing source of forced oscillations is energy pumps operating in a wide frequency range. The areas of coincidence of natural and forced vibrations that initiate resonance and destruction of load-bearing pipe lines are found.

Key words: transport, shell tube, vibrations, critical velocities, frequency, resonance, destruction.

Магистральные и технологические трубопроводы непрерывно находятся в пульсирующем эксплуатационном режиме, вызванным работой нагнетательных агрегатов.

В протяженных трубопроводах возмущающие амплитуды затухают с удалением мест расположения насосов, в которых имеется большая вероятность акустического и механического резонанса, ведущих к разрушению транспортных систем. В связи с этим, в статье дается прогнозируемая оценка по времени исчерпания несущей способности транспортных коммуникаций.

Кроме того, при определенных условиях возникают параметрические колебания отдельных участков трубопроводных систем. Чаще всего это наблюдается при работе топливных насосов, генерирующих широкий спектр возмущающих импульсов и скорости потока. Учитывая возможность разделения переменных, ограничимся частью известного

уравнения, которая описывает поперечные колебания трубопровода с протекающей жидкостью

$$\frac{d^2 w_n(t)}{dt^2} + \frac{n^2 \pi^2}{L^2} \cdot \frac{m}{m+M} \left[\left(\frac{n^2 \pi^2}{L^2} \cdot \frac{EI}{m} - v^2 \right) - 2v \cdot v_1 \cos pt \right] \cdot w_n(t) = 0, \quad (1)$$

где v – среднее значение скорости движения жидкости, v_1 – амплитудное значение пульсирующей скорости.

Если в этом уравнении выделить собственную частоту, то уравнению (1) можно придать вид

$$\frac{d^2 w_n(t)}{dt^2} + \omega_n^2 (1 - 2a_n \cos pt) w_n(t) = 0, \quad (2)$$

где $(n=1,2,\dots)$

$$\omega_n = \frac{n\pi}{L} \sqrt{\frac{m}{m+M} \left(\frac{n^2 \pi^2}{L^2} \cdot \frac{EI}{m} - v^2 \right)} \quad (3)$$

собственная частота колебаний трубопровода

$$a_n = \frac{vv_1}{\frac{n^2\pi^2 EI}{L^2 m} v^2}, \quad (4)$$

коэффициент пульсации.

Теперь остается получить, при каком соотношении между возмущающей частотой p и частотой собственных колебаний ω в зависимости от коэффициента пульсации будет иметь место параметрический резонанс.

1. При малых амплитудах пульсации скорости $v_1 = 0$ (установившийся режим), коэффициент a_n тоже стремится к нулю и при $n = 1$ может быть представлен в виде

$$a_1 = \frac{v_1}{v} \cdot \frac{k}{1-k^2} \quad (5)$$

где

$$k = \frac{vL}{\pi} \sqrt{\frac{m}{EI}} \quad (6)$$

обратная величина при v будет критической скоростью движения жидкости $v_{кр}$

$$v_{кр} = \frac{\pi}{L} \sqrt{\frac{EI}{m}} \quad (7)$$

Рассмотренный случай, очевидно, соответствует статической потере устойчивости трубы при установившемся течении. При этом

$$\frac{p}{2\omega} = 1, (a_1 = 0) p = 2\omega \rightarrow \omega = \frac{p}{2}. \quad (8)$$

Величина действующей на трубопровод силы выражается формулой

$$P_0 = \pi R^2 (p + pv) \frac{d^2 w}{dt^2}. \quad (9)$$

В этой и последующих формулах p выражает давление внутри трубы. С точки зрения устойчивости невозмущенного движения и, следовательно, продления безопасного рабочего ресурса трубопроводов, остается определить при каком перепаде давления характер движения сплошной среды будет близким к ламинарному режиму.

Известно, что при ламинарном движении жидкости перепад давления для элементарной струи можно выразить формулой

$$\Delta p = \frac{2L}{r} \mu \frac{dv(r)}{dr}, \quad (0 \leq r \leq R), \quad (10)$$

где μ – кинематическая вязкость.

Отсюда получаем

$$dv(r) = \frac{\Delta p}{2L\mu} r dr. \quad (11)$$

Интегрируя, будем иметь

$$v(r) = \frac{\Delta p}{2L\mu} (R^2 - r^2) \quad (12)$$

$$v/r = 0 = \max, v/r = R = 0.$$

При этом средняя скорость выразится интегралом

$$v_1 = \frac{2\pi \int_0^R rv(r)dr}{\pi R^2}, \quad (13)$$

отсюда

$$v = \frac{\Delta p R^2}{8L\mu}, \quad (14)$$

а перепад давления будет равен

$$\Delta p = 8L\mu v / R^2 \quad (15)$$

или через критерий Рейнольдса (Re)

$$\Delta p = 16pv^2 \frac{L}{R \cdot Re}. \quad (16)$$

2. С увеличением a зависимость (8) переходит в зависимость

$$\frac{p}{2\omega_n} = 1 + \frac{a_n}{2} \quad (17)$$

($n = 1, 2, 3, 4, \dots$), т.е. область неустойчивости трубопровода расширяется (наступает разрушительный параметрический резонанс) и имеет известный клиновидный профиль динамической неустойчивости, вершина которого соответствует общей потере устойчивости.

Разрушения трубных конструкций с транспортируемой жидкой сплошной средой при параметрическом резонансе носят вибрационный характер. Численные оценки разрушения сводятся к определению предела усталости материала при циклических нагрузках с наличием развивающихся трещин, что исчерпывающе исследовано в энциклопедическом издании «Вибрации в технике», в котором в полном объеме изучены вопросы вибрационной надежности как в теоретическом, так и в прикладном аспекте применительно к механическим системам различного направления [2].

Выводы. В статье дана постановка и метод решения задачи о собственных колебаниях ω трубопровода с транспортируемой в нем жидкостью. Выявлены особенности возмущающих вынужденных колебаний и найдены условия перехода ламинарного течения в турбулентное. Получено соотношение между собственными и вынужденными частотами колебаниями,

приводящих к резонансу и разрушению трубопроводов.

Список источников

1. Вольмир А.С. Устойчивость деформируемых систем. – М.: Наука, 1967. – 984 с.
2. Устойчивость и циклическая трещиностойкость конструкционных материалов. Т. 4. – 1990. – 679 с.

Информация об авторах

Солодовник Михаил Дмитриевич, к.ф.-м.н., доц., доцент кафедры «Технология машиностроения и инженерный консалтинг» Луганского государственного университета имени Владимира Даля, г. Луганск.
E-mail: tm.univer@yandex.ru

Ясуник Светлана Николаевна, к.т.н., доц., доцент кафедры «Технология машиностроения и инженерный консалтинг» Луганского государственного университета имени Владимира Даля, г. Луганск.
E-mail: jsn7628620@mail.ru.

Волков Игорь Владимирович, к.т.н., доц., доцент кафедры «Технология машиностроения и инженерный консалтинг» Луганского государственного университета имени Владимира Даля, г. Луганск.
E-mail: volnaana@mail.ru.

Кузнецова Марина Николаевна, старший преподаватель кафедры «Технология машиностроения и инженерный консалтинг» Луганского государственного университета имени Владимира Даля, г. Луганск.
E-mail: kuz_mari@rambler.ru

References

1. Volmir A.S. Stability of deformable systems. – M.: Nauka, 1967. – 984 p.
2. Stability and cyclic crack resistance of structural materials. Volume–4. – 1990. – 679c

Статья поступила в редакцию 18.07.2024

Information about the authors

Solodovnik Mikhail, candidate of Physical and Mathematical sciences, associate professor, associate professor of the department of engineering technology and engineering consulting at the Lugansk Vladimir Dahl State University, Lugansk.
E-mail: tm.univer@yandex.ru

Yasunik Svetlana, candidate of Technical sciences, associate professor, associate professor of the department of engineering technology and engineering consulting at the Lugansk Vladimir Dahl State University, Lugansk.
E-mail: jsn7628620@mail.ru.

Volkov Igor, candidate of Technical sciences, associate professor, associate professor of the department of engineering technology and engineering consulting at the Lugansk Vladimir Dahl State University, Lugansk.
E-mail: volnaana@mail.ru.

Kuznetsova Marina, senior lecturer of the department of engineering technology and engineering consulting at the Lugansk Vladimir Dahl State University, Lugansk.
E-mail: kuz_mari@rambler.ru.

Для цитирования:

Солодовник М. Д., Ясуник С. Н., Волков И. В., Кузнецова М. Н. Предупреждение параметрического резонанса трубопроводов как одной из причин потери их устойчивости и вибрационного разрушения // Вестник Луганского государственного университета имени Владимира Даля. – 2024. – № 11(89). – С. 118-120.

For citation:

Solodovnik M. D., Yasunik S. N., Volkov I. V., Kuznetsova M. N. Prevention of parametric resonance of pipelines as one of the causes of their loss of stability and vibration destruction // Vestnik of Lugansk State University named after Vladimir Dahl. – 2024. – № 11(89). – P. 118-120.

УДК 621.694

ТИПОВЫЕ ОШИБКИ ПРИ РЕГУЛИРОВАНИИ СКОРОСТИ В ПНЕВМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Сулига С. В.

TYPICAL ERRORS WHEN CONTROLLING SPEED IN PNEUMATIC SYSTEMS

Suliga S. V.

Аннотация. Регулировка скорости нагрузки в системах пневмоавтоматики важна как для обеспечения требуемой производительности, так и для безопасной и долговечной работы оборудования. Используемые для этого элементы, а чаще всего это дроссели, дроссели с обратным клапаном и клапаны быстрого выхлопа, недостаточно квалифицированный персонал часто ставит в ненадлежащие места, неверно ориентирует и даже часто путает друг с другом. Нередки случаи небрежной настройки или несанкционированного вмешательства. Все это создает риски для выпускаемой продукции, самого оборудования и даже персонала.

В статье описываются схемы, используемые для регулировки скорости в системах промышленной автоматизации, транспорта и техники непрерывных процессов, области их правильного применения, рекомендации по выбору подходящих элементов и типовые ошибки, которые допускаются на стадии проектирования, монтажа, ввода в эксплуатацию и обслуживания.

Ключевые слова: пневматика, пневмоавтоматика, дроссели, регулировка скорости, сжатый воздух, источник энергии.

Abstract. Load speed control in pneumatic automation systems is important both to ensure the required performance and for safe and long-lasting operation of the equipment. The elements used for this purpose, and most often these are chokes, check valve chokes and quick exhaust valves, are often placed in improper places by insufficiently qualified personnel, misoriented and even often confused with each other. Cases of careless configuration or unauthorized interference are not uncommon. All this creates risks for the products, the equipment itself, and even the personnel.

The article describes the schemes used to adjust the speed in industrial automation systems, transport and continuous process technology, the areas of their correct application, recommendations for the selection of suitable elements and typical errors that are allowed at the design, installation, commissioning and maintenance stages.

Key words: pneumatics, pneumoautomatics, throttles, speed control, compressed air, energy source.

Введение. Регулировка скорости нагрузки в системах пневмоавтоматики важна как для обеспечения требуемой производительности, так и для безопасной и долговечной работы оборудования. Используемые для этого элементы – дроссели, дроссели с обратным клапаном (ОК) и клапаны быстрого выхлопа (КБВ) – недостаточно квалифицированный персонал часто ставит в ненадлежащие места, неверно ориентирует и даже часто путает друг с другом. Нередки случаи небрежной настройки или несанкционированного

вмешательства. Все это создает риски для выпускаемой продукции, самого оборудования и персонала.

Целью настоящей работы является систематизация на основе практического опыта используемых схем регулирования скорости в пневматических системах и допускаемых при этом ошибок, как на стадии проектирования, так и на стадиях монтажа и последующего обслуживания.

Наиболее частым требованием является понижение скорости перемещения поршня

пневмоцилиндра (вала поворотного привода) во избежание недопустимых ударов при посадке на упор или при касании объекта, более-менее плавной подачи инструмента/нагрузки на определенном участке хода или получения заданной производительности. В отличие от гидравлики или электрики такая регулировка не может быть точной из-за сжимаемости рабочей среды и имеет ряд особенностей, связанных с разницей между процессами наполнения и опорожнения.

Как и в гидравлике, в пневматике регулировка связана с изменением площади поперечного сечения, т.е. с изменением расхода втекающего или вытекающего из полостей

исполнительного устройства воздуха. Для этого используются дроссели и дроссели с ОК, которые иногда трудно отличить друг от друга, а иногда сложно разобраться, куда открывается встроенный обратный клапан. Недостаточно квалифицированный персонал при монтаже и обслуживании часто делает ошибки или просто не обращает внимание на результат своих действий, т.к. система «вроде бы работает» и даже регулируется.

На рис.1 показаны варианты использования дросселей для регулировки скорости поршня пневмоцилиндра двустороннего действия, управляемого 5/2 – распределителем (рис. 1).

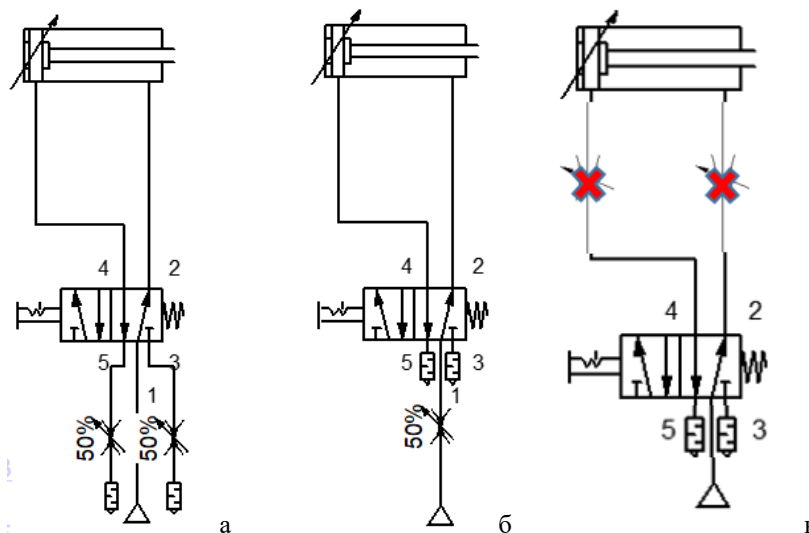


Рис. 1. Регулировка с помощью дросселей:

а) независимая регулировка на выхлопе; б) общее замедление; в) недопустимый вариант

Если речь идет о независимой регулировке скорости в обоих направлениях – при выдвигании и при втягивании штока, то единственно возможный способ показан на рис. 1, а. Дроссели, как правило, объединенные в один элемент с глушителями, стоят в выхлопных каналах 3 и 5. В основном это используется в приводах арматуры, где распределитель монтируется непосредственно на приводе и нет шлангов, идущих от выходных каналов 2 и 4. Применять такой способ регулировки скорости в иных случаях не очень удобно, поскольку распределитель может находиться далеко от цилиндра (например, в шкафу), и оператор, регулируя дроссель, может не видеть результат.

Схема, показанная на рис.1б, не обеспечивает отдельную регулировку, но

может использоваться в тех случаях, когда нужно просто замедлить процесс заполнения полостей, чтобы при остановке поршня давление в одной из них не росло слишком быстро. Тогда, например, можно получать значительную экономию потребления воздуха за счет быстрого реверса или отсечки соответствующего шланга 2/2-распределителем.

Схема же, показанная на рис. 1в, является ошибкой, поскольку не позволяет производить независимую регулировку, хотя видимость этого присутствует. Каждый из дросселей влияет и на скорость выдвигания, и на скорость втягивания штока, ограничивая расход, втекающий в полость в одном случае и вытекающий при обратном перемещении. Ее может применять неопытный персонал,

который стремится, например, разместить для удобства дроссели на цилиндре.

При желании иметь возможность независимой регулировки скорости на цилиндре или в шлангах между ним и распределителем необходимо использовать не дроссели, а дроссели с ОК, которые регулируют расход только в одном направлении, а в другом пропускают его беспрепятственно (рис. 2). И здесь возможностей для ошибок становится больше. Понятно, что два устройства можно поставить по одному в двух шлангах 4 вариантами, два из которых неправильны в любом случае, а для

остальных нужно иметь уверенность, что именно этот способ нужен в конкретном случае. Иначе возникает риск сделать систему работоспособной лишь условно или раньше времени вывести цилиндр из строя. Неправильными будут два варианта, в которых один обратный клапан открывается в сторону цилиндра, а другой – от него. В ряде случаев можно поставить оба дросселя в один из шлангов, только их обратные клапаны должны как раз открываться навстречу друг другу, а нагрузка постоянно действовать в одну сторону.

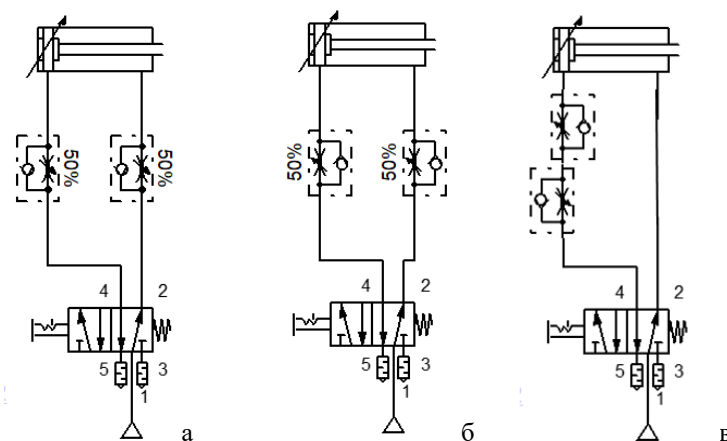


Рис. 2. Регулировка скорости с помощью дросселей с обратным клапаном:
а) дросселирование на выходе; б) дросселирование на входе; в) комбинированное

В большинстве учебников и руководств единственно правильным способом называют дросселирование на выходе (выхлопе), когда полости цилиндра заполняются через обратный клапан, а опоражниваются через дроссель – рис.2а. Считается, что в таком случае зажатый с двух сторон воздушными пружинами поршень движется равномерно, без рывков, даже при значительном изменении нагрузки. А при быстром опоражнивании одной полости и медленном наполнении другой (дросселирование на входе – рис. 2, б) происходит следующее: полость наполняется до давления, способного преодолеть нагрузку, включая силы трения снаружи и внутри цилиндра, после чего поршень начинает движение. При этом за счет перехода с трения покоя на трение движения сопротивление перемещению падает, поршень ускоряется, объем полости растет, давление в ней падает, поршень останавливается, и все повторяется.

То есть движение идет рывками даже при небольшой нагрузке.

Все это так. Но, во-первых, неравномерность перемещения с малой скоростью имеет место и при дросселировании на выходе, а во-вторых, главным достоинством этого способа является защита цилиндра от помогающей нагрузки. Создаваемая воздушная пружина препятствует разгону поршня под этой нагрузкой (постоянной или внезапно возникающей, как, например, при закрытии/открытии дверей, люков и т.п.). Т.е. действует аналогично встроенному пневматическому регулируемому демпфированию в конце ходе или доводчику на той же двери, но только на всей длине хода. Дросселирование на входе такой защиты не дает, поскольку противоположная полость опоражнивается быстро через обратный клапан. При наличии помогающей нагрузки это приведет к быстрому выходу цилиндра из строя, сильным ударами и вибрации.

У дросселирования на входе есть свое достоинство – давление в активной полости само подстраивается под нагрузку, и цилиндр может работать в очень экономичном режиме. А при дросселировании на выходе давление даже при перемещении без нагрузки всегда близко к максимуму для преодоления возникающей воздушной пружины. По этой же причине невозможно использовать дросселирование на выходе, если в системе есть реле давления – с самого начала движения давление в обеих полостях высокое, и реле срабатывает раньше времени.

На рис. 3 показана схема привода дверей с возможностью автоматического их раскрытия в случае защемления какого-либо объекта. Это реализуется с помощью реле давления: если оно сработало, а концевой датчик нет, значит в дверях объект и их нужно открыть, даже при нажатой кнопке «Закрыть». Здесь может быть только дросселирование на входе, иначе двери будут почти невозможно закрыть. Но даже при правильной ориентации дросселей с обратным клапаном при нарушении допустимого диапазона их настройки режим против защемления срабатывает с запаздыванием или возникают проблемы с закрытием дверей.

Вариант, показанный на рис. 2, в, может применяться только при нагрузке, действующей в одном направлении, например, при подъеме и опускании груза штоком вверх. При подъеме дросселируется входящий воздух (экономия энергии), а при опускании – выходящий (защита от удара). Если груз перемещается штоком вниз, то оба дросселя с ОК переносятся в канал, идущий к штоковой полости. Эксперименты с цилиндром (поршень 20 мм, ход 100 мм), поднимающим груз массой

10 кг показали, что без задержки в верхней точке и давлении питания 6 бар дросселирование на входе дает экономию в 2 раза, а комбинированное – в 1,5.

Для регулировки скорости в приводах одностороннего действия применяются схемы, показанные на рис. 4. Здесь рабочая полость одна, доступных каналов меньше, поэтому двусторонняя регулировка скорости происходит за счет дросселирования на входе при заполнении и на выходе при опорожнении. Но даже в таком простом случае не обошлось без ошибок. Поскольку приводы арматуры часто работают в тяжелых окружающих условиях, их пружины в открытых в атмосферу полостях часто подвержены коррозии. Для предотвращения этого некоторые производители применяют так называемую прокачку – выхлопной воздух из рабочей полости сначала идет в пружинные полости и только потом в атмосферу. Это повышает срок службы пружин, но закрытый дроссель в канале 3 создает подпор, что приводит к сильному удару при обратном ходе. В приводах арматуры пружины обеспечивают 50% от усилия/момента, который создает сжатый воздух, поэтому такая «помощь» оказалась нектати. Решение: нужно использовать вместо достаточного 3/2-распределителя 5/2, у которого для регулировки скорости доступны два выхлопных канала 3 и 5. Хотя при этом почти вдвое возрастает потребление сжатого воздуха.

Если требуется повысить скорость поршня в каком-то направлении, соответствующий дроссель убирается, а устанавливается КБВ, который сокращает путь выхлопа и имеет большое проходное сечение (рис. 5).

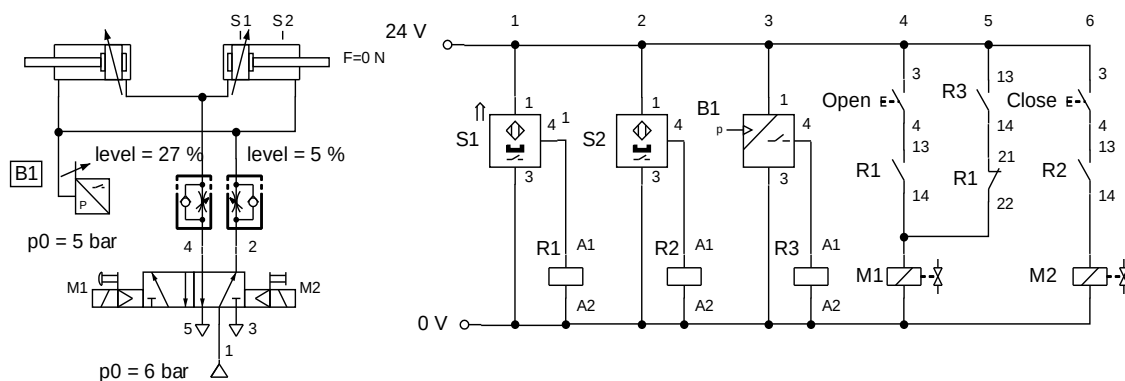


Рис. 3. Привод дверей с режимом против защемления

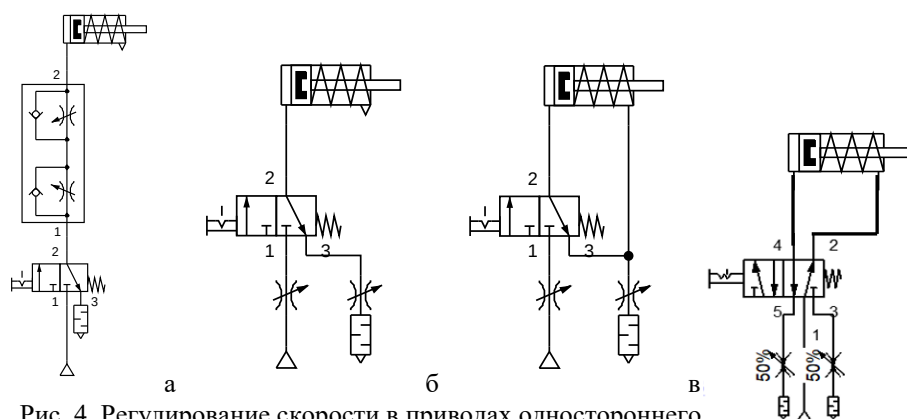


Рис. 4. Регулирование скорости в приводах одностороннего действия: а) цилиндр с возвратной пружиной; б) привод арматуры; в) то же с прокачкой пружинной полости и возможностью удара; г) то же без удара

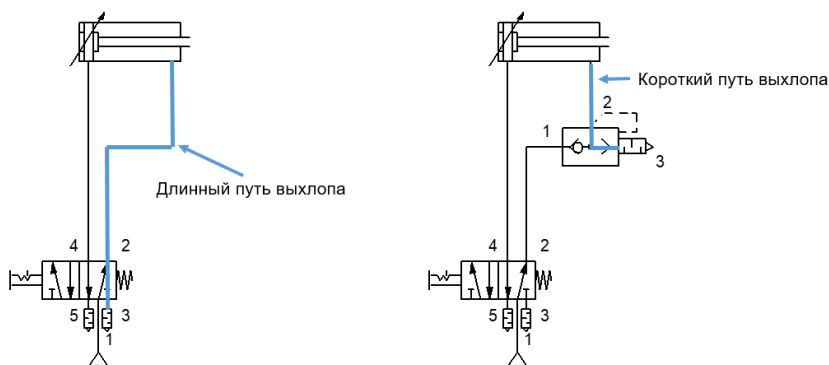


Рис. 5. Ускорение перемещения за счет использования КБВ

Эта мера сама по себе не очень эффективна – КБВ сокращает время перемещения примерно на 20%. Но если использовать распределитель подходящего размера, короткие шланги достаточного диаметра и без поворотов, прямые фитинги, то скорость можно повысить в 2...3 раза.

Исходя из изложенного, можно сделать следующие рекомендации.

1. Дроссели при отдельной регулировке скорости можно использовать только в выхлопных каналах 3 и 5, а в приводах одностороннего действия – в каналах 3 и 1 (питание).

2. Дроссели с обратным клапаном можно использовать в любом месте между распределителем и исполнительным устройством (каналы 2 и 4), и при этом обратные клапаны должны быть ориентированы в одну сторону при установке в разных каналах/шлангах и в разные стороны при монтаже последовательно.

3. Выбор дросселирования на входе, на выходе или комбинированного делается, исходя из требований к конкретной системе. Нельзя признавать какой-то вариант

единственно правильным, а нужно сделать правильный выбор и правильно его реализовать.

4. Выбор размера дросселя и дросселя с ОК делается не по присоединительной резьбе, а по его расходной характеристике. Иначе регулировка может быть затруднена.

5. У некоторых производителей дроссели с обратным клапаном делятся на «для установки на цилиндре» и «для установки на распределителе». При выполнении такой рекомендации получается дросселирование на выходе (т.е. «единственно правильное»), иначе – на входе.

6. При наличии сомнений в устройстве (дроссель или дроссель с обратным клапаном) нужно полностью закрутить винт и продуть в обоих направлениях. Продуть получится только в направлении открытия ОК.

7. Стрелочка на корпусе отдельного ОК показывает направление прохода воздуха, а на дросселе с ОК – направление дросселирования.

8. КБВ должен стоять в крышке цилиндра, а при увеличении длины шланга между ним и цилиндром эффективность КБВ резко падает.

9. При использовании КБВ для одного перемещения и замедления для другого есть возможность только дросселирования на выходе.

10. Для защиты настройки дросселя нужно использовать контргайку или иной фиксатор во избежание случайного воздействия, поскольку последствия от измененной настройки могут быть серьезными.

Выводы. В статье описаны схемы, используемые для регулировки скорости в системах промышленной автоматики, транспорта и техники непрерывных процессов, области их правильного применения, рекомендации по выбору подходящих элементов, типовые ошибки, которые допускаются на стадии проектирования, монтажа, ввода в эксплуатацию и обслуживания, а также рекомендации по их недопущению.

Список источников

1. Сулига, С. В. Проектирование и обслуживание пневматических систем : учебное пособие / С. В. Сулига. – [Б. м.]: FESTO, 2021. – 295 с.
2. Каталог «Фесто»
https://www.festo.com/net/SupportPortal/Files/450379/KeyProducts_2017_RU_low.pdf
3. Каталог продукции SMC
4. Каталог продукции Camozzi
5. Каталог продукции Pneumax

Информация об авторе

Сулига Сергей Васильевич, к.т.н.
Руководитель программ подготовки персонала компании «Фесто-РФ».

6. Каталог продукции Rexroth-Aventics
7. Каталог продукции Parker
8. Каталог продукции Norgren
9. Каталог продукции E.MC
10. Каталог продукции NCPC
11. Каталог продукции EMAX
12. Каталог продукции XCPC
13. Каталог продукции KCC
14. Каталог продукции JELPC
15. Каталог продукции TPC

References

1. Suliga, S. V. Projecting and maintenance of pneumatic systems: textbook / S. V. Suliga. - [B. m.]: FESTO, 2021. –295 p.
2. Festo catalog
https://www.festo.com/net/SupportPortal/Files/450379/KeyProducts_2017_RU_low.pdf
3. SMC Product Catalog Camozzi product Catalog
4. Pneumax Product Catalog
5. Rexroth-Aventis product Catalog
6. Parker Product Catalog
7. Norgren product Catalog
8. Product Catalog E.MC
9. NSP Product Catalog
10. EMAX Product Catalog
11. XCPC Product Catalog
12. KCC Product Catalog
13. JELPC Product Catalog
14. TPC Product Catalog

Статья поступила в редакцию 20.09.2024

Information about the author

Suliga Sergey Vasilyevich, Ph.D. Head of Festo-RF personnel training programs.

Для цитирования:

Сулига С. В. Типовые ошибки при регулировании скорости в пневматических системах // Вестник Луганского государственного университета имени Владимира Даля. – 2024. – № 11(89). – С. 121-126.

For citation:

Suliga S. V. Typical errors when controlling speed in pneumatic systems // Vestnik of Lugansk State University named after Vladimir Dahl. – 2024. – № 11(89). – P. 121-126.

УДК 658.78.06

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ЗНАЧЕНИЙ
КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПНЕВОТРАНСПОРТНОГО
УСТРОЙСТВА С НАКЛОННЫМИ ПИТАЮЩИМИ КАНАЛАМИ,
ОБСЛУЖИВАЮЩИХ КОНВЕЙЕР СТЕЛЛАЖНЫХ СКЛАДОВ**

Турушина Н. В., Турушин В. А.

**DETERMINATION OF OPTIMAL VALUES OF DESIGN PARAMETERS
OF A PNEUMATIC CONVEYING DEVICE WITH INCLINED FEEDING
CHANNELS SERVING A CONVEYOR OF RACK WAREHOUSES**

Turushina N. V., Turushin V. A.

Аннотация. В работе рассматривается вопрос о возможности использования пневмотранспортного устройства с наклонными питающими каналами для обслуживания конвейера в стеллажном складе. Определены оптимальные по затратам энергии значения конструктивных параметров пневмотранспортного устройства стеллажного склада при транспортировании грузов весом до 500 Н и смещении центра тяжести до 0,25 ширины поддона.

Ключевые слова: пневмотранспортное устройство, наклонные питающие каналы, стеллажный склад, конвейер, конструктивные параметры.

Abstract. The paper discusses the possibility of using a pneumatic conveyor device with inclined supply channels for servicing a conveyor in a rack warehouse. The optimal values of the design parameters of the pneumatic transport device of the rack warehouse when transporting goods weighing up to 500 N and shifting the center of gravity to 0.25 of the pallet width are determined in terms of energy consumption.

Key words: pneumatic conveying device, inclined supply channels, rack warehouse, conveyor, design parameters.

Введение. Транспортная система на основе воздушной подушки в стеллажном складе состоит из транспортных конвейеров, расположенных на них поддонов, предназначенных для установки груза в условную ячейку и подачи его на конвейер элеваторного типа в начале или конце стеллажного блока. Процесс перемещения поддона с грузом в стеллажном конвейере существенно отличается от исследованных ранее, так как в данном случае конвейер работает в режиме, когда существенное влияние на него оказывает смещение центра тяжести груза относительно центра поддона.

Существующие методики расчета конвейеров с воздушной подушкой с

питающими каналами [1, 2] не позволяют определить основные конструктивные и технологические параметры для конвейеров значительной протяженности для транспортирования грузов на поддонах или с плоской опорной поверхностью, при условии, что центр тяжести груза находится не над геометрическим центром опорной поверхности и высота воздушной подушки под всеми точками этой поверхности различна.

Цель настоящей работы является разработка научно-обоснованной методики определения конструктивных параметров транспортного устройства ячейки стеллажного склада с воздушной подушкой для создания

эффективной транспортной системы в зоне хранения стеллажного.

Анализ результатов исследований и существующих конструкций конвейеров с воздушной подушкой показал, что применение существующих методик расчёта основных технико-экономических характеристик и конструктивных параметров транспортных устройств на воздушной подушке в ячейках стеллажного склада нерационально или не представляется возможным, так как процесс перемещения поддона с грузом в ячейках существенно отличается от ранее исследованных, а именно: центр тяжести груза, расположенного на поддоне, чаще всего смещен относительно геометрического центра поддона, расстояние перемещения соизмеримо с длиной стеллажной полки, а движение поддона начинается из состояния покоя, что влечет за собой дополнительные энергозатраты.

Для возможного использования пневмотранспортного устройства с наклонными питающими каналами при обслуживании конвейера в стеллажном складе были определены оптимальные по затратам энергии

значения конструктивных параметров пневмотранспортного устройства стеллажного склада при транспортировании грузов весом до 500 Н и смещении центра тяжести до 0,25 ширины поддона.

В качестве критерия оптимизации был принят минимальный удельный расход энергии, т.е. расход энергии на перемещение поддона с грузом весом lH на расстояние l м при выдаче поддона из ячейки стеллажного склада.

$$\bar{N} = \frac{Q \cdot P}{G \cdot l} \cdot t, \quad (1)$$

где Q – расход воздуха в транспортном устройстве, $м^3/с$;

P – давление воздуха в ресивере, $Па$;

G – суммарный вес груза и поддона, $Н$;

l – длина поддона (расстояние перемещения поддона с грузом), $м$;

t – время одной операции по выдаче груза из ячейки склада, $с$.

Используя результаты проведенных исследований, имеем

$$\bar{N} = \frac{1,3G^{0,5} \cdot \bar{S}_1}{C_{y0}^{1,5} \cdot b^{0,5} \cdot l^{1,5}} \cdot \left\{ \frac{5,6 \cdot \frac{H+h_{cp}}{d} \cdot \left[1 - 2 \cdot \frac{H+h_{cp}}{d} \left(1 - e^{-0,5 \frac{d}{H+h_{cp}}} \right) \right] \cdot \frac{b+l}{S_1 \cdot b \cdot l} \cdot h_{cp}}{\sqrt{1 + 2 \left(\frac{b+l}{S_1 \cdot b \cdot l} \cdot h_{cp} \right)}} + 1 \right\} \cdot \sqrt{\frac{2l}{a}}, \quad (2)$$

где a – ускорение движения поддона с грузом, необходимое для обеспечения заданной производительности транспортного устройства, $м^3/с$.

$$a = \frac{g \cdot l}{l + 2 \cdot f_2 \cdot \Delta b} \cdot \left\{ \frac{\frac{C_{x1} + C_{x2}}{2 \cdot C_{y0}} - f_1 \cdot e^{-6 \cdot \frac{\sqrt{h_1 \cdot h_2}}{\Delta}} - 0,0008 - 2 \cdot f_2 \cdot \frac{b}{l}}{\left[\frac{C_{x2} - C_{x1}}{2 \cdot C_{y0}} + \left(f_1 \cdot e^{-6 \cdot \frac{\sqrt{h_1 \cdot h_2}}{\Delta}} + 0,0008 \right) \right]} \cdot \left[0,5 - \frac{\sqrt{h_1 \cdot h_2} - h_1}{h_2 - h_1} \right]} \right\}. \quad (3)$$

Коэффициенты тяговой силы в крайних точках

$$C_{x1} = \frac{64 \cdot \left(\frac{H+h_1}{d} \right)^2 \cdot \left[1 - 2 \cdot \frac{H+h_1}{d} \cdot \left(1 - e^{-0,5 \frac{d}{H+h_1}} \right) \right]^2 \cdot \frac{(b+l)^2}{\bar{S}_1 \cdot b^2 \cdot l^2} \cdot h_1^2 \cdot \sin \varphi}{1 + 2 \cdot \frac{(b+l)^2}{\bar{S}_1^2 \cdot b^2 \cdot l^2} \cdot h_1^2} . \quad (4)$$

$$C_{x2} = \frac{64 \cdot \left(\frac{H+h_2}{d} \right)^2 \cdot \left[1 - 2 \cdot \frac{H+h_2}{d} \cdot \left(1 - e^{-0,5 \frac{d}{H+h_2}} \right) \right]^2 \cdot \frac{(b+l)^2}{\bar{S}_1 \cdot b^2 \cdot l^2} \cdot h_2^2 \cdot \sin \varphi}{1 + 2 \cdot \frac{(b+l)^2}{\bar{S}_1^2 \cdot b^2 \cdot l^2} \cdot h_2^2} . \quad (5)$$

Высота воздушной подушки

$$h_1 = \frac{\bar{S}_1 \cdot l}{1 + \frac{l}{b}} \cdot \sqrt{\frac{1}{2 \cdot C_{y0} \cdot \left(1 + 2 \cdot \frac{\Delta b}{b} \right)} - 0,5} . \quad (6)$$

$$h_2 = \frac{\bar{S}_1 \cdot l}{1 + \frac{l}{b}} \cdot \sqrt{\frac{1}{2 \cdot C_{y0} \cdot \left(1 + 2 \cdot \frac{\Delta b}{b} \right)} - 0,5} . \quad (7)$$

$$h_{cp} = \frac{h_1 + h_2}{2} . \quad (8)$$

Определение оптимальных значений конструктивных параметров с точки зрения минимальных затрат энергии осуществлялось методом Бокса-Вильсона [3, 4], для чего проводился вычислительный эксперимент. В качестве параметров оптимизации служат:

$\bar{S}_1$ – относительная площадь питающих каналов;

H – высота камеры в опорной поверхности поддона;

C_{y0} – условный коэффициент подъемной силы.

В качестве факторов служили: отношения величины смещения центра тяжести груза к

ширине поддона $\frac{\Delta b}{b} = \varepsilon$, длина поддона l ,

ширина поддона b , суммарный вес груза и поддона G , диаметр поперечного сечения питающего канала d . Расчет проводился в виде вычислительного эксперимента. В качестве плана эксперимента выбрана реплика 2^{5-2} с генерирующими соотношениями $x_4 = x_1 x_2$; $x_5 = x_1 x_3$ и определяющими контрастами $+1 = x_1 x_2 x_4$; $+1 = x_1 x_3 x_5$.

В результате анализа априорной информации об области возможного применения рассматриваемых устройств определены пределы изменения факторов: $\varepsilon = 0 \dots 0,2$; $l = 0,2 \dots 1,0$ м; $b = 0,2 \dots 1,0$ м; $G = 50 \dots 500$ Н; $d = 1,5 \dots 2,5$ мм.

Таблица 1

Кодовые обозначения, уровни и интервалы варьирования факторов

Характеристика	Факторы				
	ε	l	b	G	d
Кодовое обозначение	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5
Интервал варьирования	0,1	0,4	0,4	225	0,0005
Основной уровень(код «0»)	0,1	0,6	0,6	275	0,002
Нижний уровень(код «-1»)	0	0,2	0,2	50	0,0015
Верхний уровень(код «+1»)	0,2	1,0	1,0	500	0,0025

Таблица 2

План эксперимента в кодовом виде

Номер опыта	Уровни факторов					
	x_0	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5
1	+1	+1	+1	+1	+1	+1
2	+1	-1	+1	+1	-1	-1
3	+1	+1	-1	+1	-1	+1
4	+1	-1	-1	+1	+1	-1
5	+1	+1	+1	-1	+1	-1
6	+1	-1	+1	-1	-1	+1
7	+1	+1	-1	-1	-1	-1
8	+1	-1	-1	-1	+1	+1

Таблица 3

План эксперимента в натуральном виде

Номер опыта	Уровни факторов				
	ε	l	b	G	d
1	0,2	1,0	1,0	500	0,0025
2	0	1,0	1,0	50	0,0015
3	0,2	0,2	1,0	50	0,0025
4	0	0,2	1,0	500	0,0015
5	0,2	1,0	0,2	500	0,0015
6	0	1,0	0,2	50	0,0025
7	0,2	0,2	0,2	50	0,0015
8	0	0,2	0,2	500	0,0025

Таким образом, для определения оптимальных значений конструктивных параметров проведены восемь серий опытов вычислительного эксперимента.

Результаты исследований. Определение оптимальных значений исследуемых величин в

каждой серии опытов осуществлялась с помощью планирования эксперимента с планом в виде дробной реплики 2^{3-1} с генерирующим соотношением $x_3 = x_1 x_2$ и определяющим контрастом $+I = x_1 x_2 x_3$.

Таблица 4

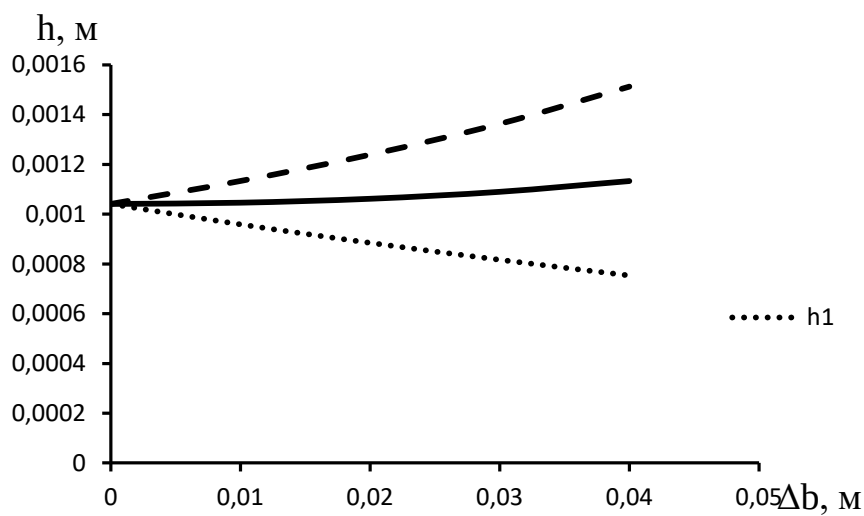
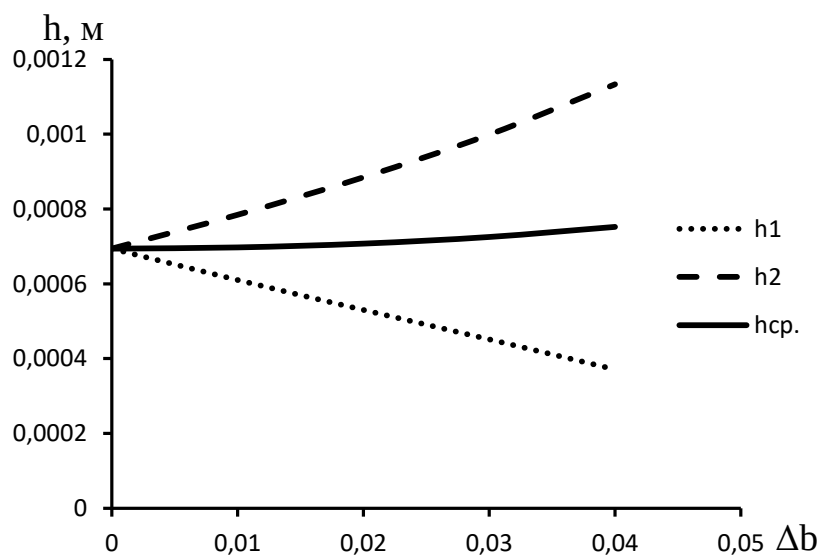
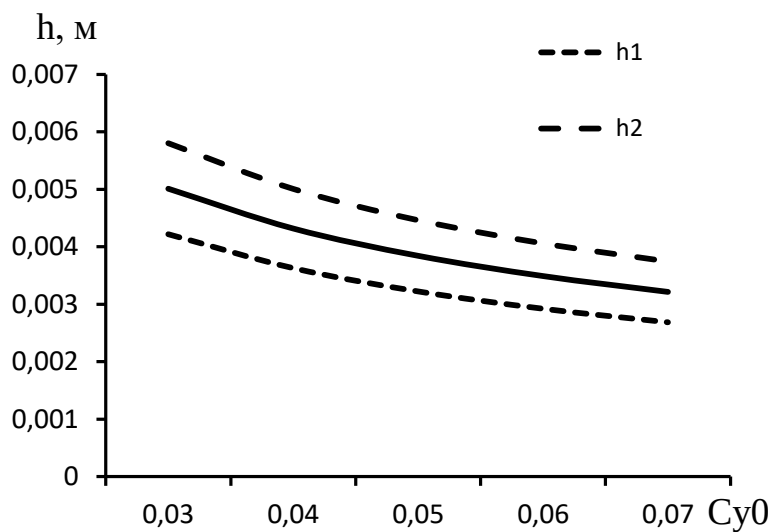
Результаты эксперимента

Номер опыта	Уровни факторов					Результаты эксперимента		
	ε	l	b	G	d	$\bar{S}_1$	H	C_{y0}
1	0,2	1,0	1,0	500	0,0025	0,0150	2,0	0,54
2	0	1,0	1,0	50	0,0015	0,0150	2,0	0,54
3	0,2	0,2	1,0	50	0,0025	0,0150	2,0	0,54
4	0	0,2	1,0	500	0,0015	0,0150	2,0	0,54
5	0,2	1,0	0,2	500	0,0015	0,0150	2,0	0,54
6	0	1,0	0,2	50	0,0025	0,0150	2,0	0,54
7	0,2	0,2	0,2	50	0,0015	0,0150	2,0	0,54
8	0	0,2	0,2	500	0,0025	0,0150	2,0	0,54

Таким образом, оптимальными значениями конструктивных параметров являются: относительная площадь питающих каналов $\bar{S}_1 = 0,015$, глубина камеры в днище поддона $H = 2$ мм, относительный коэффициент подъемной силы $C_{y0} = 0,54$.

На рисунках 1-7 представлены графики зависимости h , F_x , W_0 , Q , N от Δb и h от C_{y0} при оптимальных значениях конструктивных параметров транспортного устройства. Как

видно, смещение центра тяжести груза существенно влияет на эксплуатационные характеристики устройства даже при оптимальном сочетании конструктивных параметров. Так при смещении центра тяжести на 0,1 ширины опорной поверхности сопротивление движению поддона увеличивается на 50%, необходимое давление и мощность на 15%, а при смещении на 0,25 ширины сопротивление возрастает почти в 3 раза, давление и мощность – на 25%.

Рис. 1. Зависимость h_1 и h_2 от Δb при $\overline{S}_1 = 0,01$; $C_{y0} = 0,4$; $b = 0,2$ м; $l = 0,3$ мРис. 2. Зависимость h_1 и h_2 от Δb при $\overline{S}_1 = 0,015$; $C_{y0} = 0,6$; $b = 0,2$ м; $l = 0,3$ мРис. 3. Зависимость h_1 и h_2 от C_{y0} при $\overline{S}_1 = 0,01$; $\Delta b = 0,03$ м; $b = 0,2$ м; $l = 0,3$ м

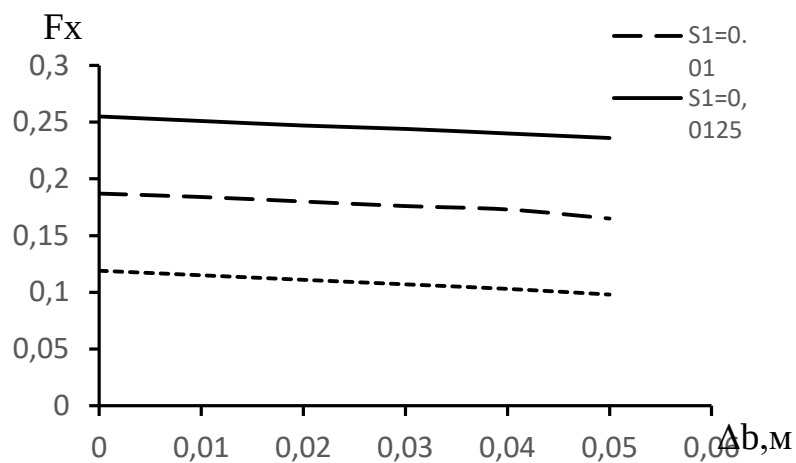


Рис. 4. Зависимость F_x от Δb при $C_{y0}=0,4$; $b=0,2$ м; $l=0,3$ м

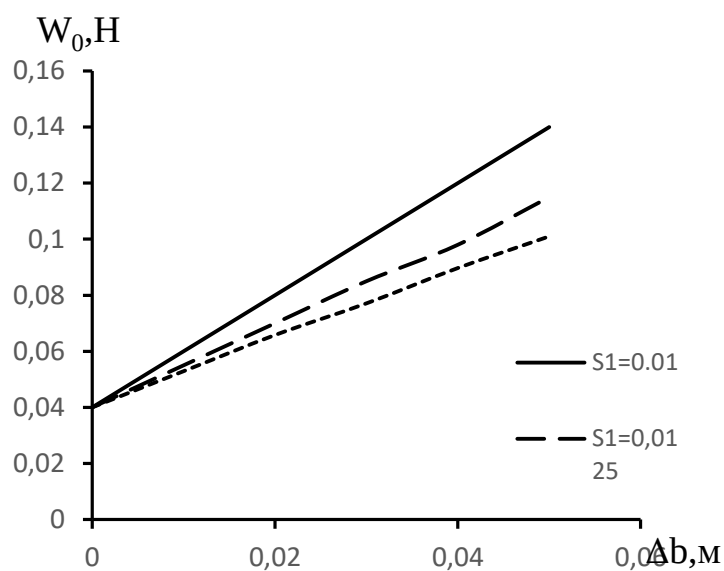


Рис. 5. Зависимость W от Δb при $C_{y0}=0,6$; $b=0,2$ м; $l=0,3$ м; $H=2$ мм

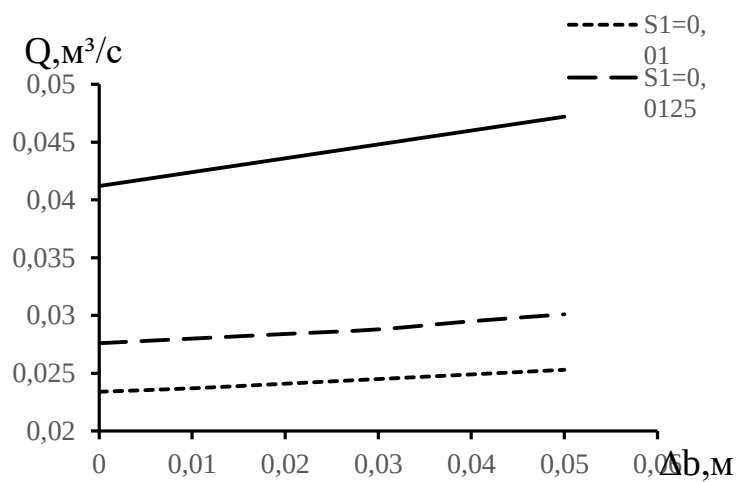
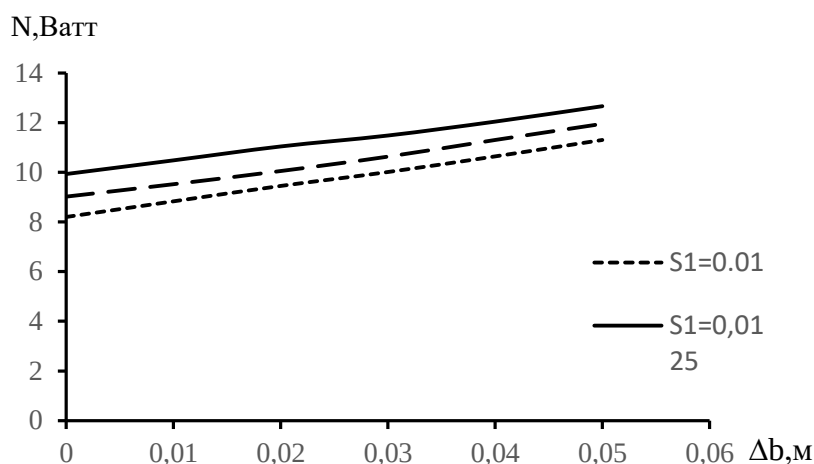


Рис. 6. Зависимость Q от $\bar{N} = \frac{Q \cdot P}{G \cdot l} \cdot t$ при $b=0,2$ м; $l=0,3$ м, $C_{y0}=0,5$; $\varphi=30^\circ$

Рис. 7. Зависимость N от Δb при $C_{y0}=0,4$; $b=0,2$ м; $l=0,3$ м; $H=2$ мм

Смещение центра тяжести груза существенно влияет на необходимое давление и, соответственно, мощность и при определенном сочетании конструктивных параметров может привести к увеличению необходимого давления на 25-27 %, а мощности на 30-35 %.

Выводы. 1. Предложена научно-обоснованная методика определения конструктивных параметров транспортного устройства ячейки стеллажного склада с воздушной подушкой для создания эффективной транспортной системы в зоне хранения стеллажного склада.

2. Для определения оптимальных значений конструктивных параметров были проведены восемь серий опытов вычислительного эксперимента.

3. Для возможного использования пневмотранспортного устройства с наклонными питающими каналами при обслуживании конвейера в стеллажном складе были определены оптимальные по затратам энергии значения конструктивных параметров пневмотранспортного устройства стеллажного склада при транспортировании грузов весом до 500 Н и смещении центра тяжести до 0,25 ширины поддона. В этом случае сопротивление возрастает почти в 3 раза, давление и мощность – на 25%.

Список источников

1. Турушина Н.В. Методика расчета основных параметров пневмотранспортного устройства в зоне хранения стеллажного склада / Н.В. Турушина, В.А. Турушин, В.В. Мирошников // Вестник Луганского государственного

университета имени Владимира Даля. – Луганск, 2023. – № 7 (73). – С. 134-137.

2. Турушина Н.В. Экспериментальные исследования зависимости высоты воздушной подушки пневмотранспортного устройства от основных факторов / Н.В. Турушина, Н.А. Жижкина // Вестник Луганского государственного университета имени Владимира Даля. – Луганск, 2022. – № 7 (61). – С. 49-52.

3. Тутубалин, В. Н. Теория вероятностей: Краткий курс и научно – методические указания / В. Н. Тутубалин. – М.: Изд-во МГУ, 1972. – 231 с.

4. Лойцянский В. Г. Механика жидкости и газа / В. Г. Лойцянский – М.: Наука, 1987. – 848 с.

References

1. Turushina N.V., Turushin V.A., Miroshnikov V.V. Metodika rascheta osnovnykh parametrov pneмотransportnogo ustroystva v zony khraneniya shellaznogo sklada [Methods of calculating the main parameters of pneumatic transport device in the storage zone of a rack warehouse]. – Lugansk, 2023. – № 7 (73). – P. 134-137.

2. Turushina N.V., Zhizhkina N.A. Experimental Studies of the Dependence of the Height of the Air Pillow of the Pneumotransportnaya Device from the Main Factors / N.V. Turushina, N.A. Zhizhkina // Bulletin of the Lugansk State University named after Vladimir Dahl. – Lugansk, 2022. – № 7 (61). – P. 49-52.

3. Tutubalin V. N. Teoriya probenostey: Kratkiy kurs i nauchno-metodicheskie ukazaniye [Probability theory: A short course and scientific and methodological instructions]. Moscow, Moscow State University Publ., 1972. – 231 p.

4. Loitsyanskiy V. G. Mekhanika zhidkogo i gaza [Mechanics of Liquid and Gas] / V. G. Loitsyanskiy – Moscow: Nauka, 1987. – 848 p.

Статья подана 01.09.2024

Информация об авторах

Турушина Наталья Владимировна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Транспортные технологии» Луганский государственный университет имени Владимира Даля.
E-mail: sun.best@mail.ru

Турушин Владимир Александрович, кандидат технических наук, профессор кафедры «Транспортные технологии» Луганский государственный университет имени Владимира Даля.
E-mail: sun.best36@mail.ru

Information about the authors

Turushina Nataliya, Candidate of Technical Sciences, docent of the Department «Transport Technologies» Lugansk Vladimir Dahl State University.
E-mail: sun.best@mail.ru

Turusin Vladimir, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department «Transport Technologies» Lugansk Vladimir Dahl State University.
E-mail: sun.best36@mail.ru

Для цитирования:

Турушина Н. В., Турушин В. А. Определение оптимальных значений конструктивных параметров пневмотранспортного устройства с наклонными питающими каналами, обслуживающих конвейер стеллажных складов // Вестник Луганского государственного университета имени Владимира Даля. – 2024. – № 11(89). – С. 127-134.

For citation:

Turushina N., Turusin V. Determination of optimal values of design parameters of a pneumatic conveying device with inclined feeding channels serving a conveyor of rack warehouses // Vestnik of Lugansk State University named after Vladimir Dahl. – 2024. – № 11(89). – P. 127-134.

УДК 338

ПРАВОВЫЕ ОСНОВЫ ГОСУДАРСТВЕННОГО ФИНАНСОВОГО КОНТРОЛЯ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Чунихина Л. Н.

LEGAL FRAMEWORK STATE FINANCIAL CONTROL IN THE RUSSIAN FEDERATION

Chunikhina L. N.

Аннотация. В статье анализируется вопрос о разработке и принятии нормативного правового документа, регламентирующего вопросы организации и проведения государственного финансового контроля в Российской Федерации.

Ключевые слова: государственный финансовый контроль, проблемы правового регулирования.

Abstract. The article analyzes the issue of the development and adoption of a regulatory legal document regulating the organization and conduct of state financial control in the Russian Federation.

Key words: state financial control, problems of legal regulation.

Введение. Актуальность исследования правового регулирования государственного финансового контроля обусловлена тем, что в настоящее время отсутствует единая федеральная программа, закрепляющая правовые основы, принципы и механизм государственного финансового контроля.

Отдельные аспекты правового регулирования государственного финансового контроля затрагивают в своих работах многие учёные, в числе которых: И.В. Алексеева, Е. Г. Анимца, И.А. Белобжецкий, А.А. Бондарчук, В.В. Григорьев, А.Ю. Ильин, В.В. Котов, М.А. Моисеенко, Д.Г. Олейник, С.К. Титоренко А.В. Тихонова, С.А. Халикова и др.

При этом, следует отметить, что проблемам правового регулирования государственного контроля, не уделялось достаточного внимания.

Анализ научной литературы позволяет выявить следующие проблемы правового регулирования государственного финансового контроля:

во-первых, отсутствует легальное определение правовой категории «государственный финансовый контроль»;

во-вторых, отсутствует единая комплексная система финансового контроля, обоснованность разработки которой обусловлена теми

изменениями, которые происходят в современное время: экономическая нестабильность во внешних отношениях, изменение государственного устройства в связи с вхождением новых субъектов в состав Российской Федерации, трансформация политической системы общества;

в-третьих, отсутствует комплексная нормативная правовая база для правового регулирования общественных отношений в сфере осуществления государственного финансового контроля.

До настоящего времени вопрос о разработке и принятии нормативного правового документа, регламентирующего вопросы организации и проведения финансового контроля в Российской Федерации, остаётся открытым. Целью статьи является выявление проблем правового регулирования государственного финансового контроля как одной из стадий управления финансовыми средствами государства.

Государственный финансовый контроль представляет собой не только формальную проверку на соответствие запланированным показателям и нормам бюджетного законодательства. В Бюджетном кодексе Российской Федерации закреплены объекты финансового контроля, виды и методы его

осуществления, при этом отсутствует само определение государственного финансового контроля [1, ст.6].

В современных условиях государственный финансовый контроль включает в себя также разработку мероприятий по предотвращению и нейтрализации бюджетных правонарушений, повышению эффективности использования бюджетных средств. Основными исполнителями этого контроля являются Счетная палата Российской Федерации, которая выступает в качестве высшего органа государственного финансового контроля, и контрольно-счетные органы субъектов Российской Федерации.

Ильин А.Ю. утверждает, что «государственный финансовый контроль – регламентированная нормами права деятельность государственных, муниципальных, общественных органов и организаций, иных хозяйствующих субъектов по проверке своевременности и точности финансового планирования, обоснованности и полноты поступления доходов в соответствующие фонды денежных средств, правильности и эффективности их использования» [2, с.15].

С данным определением содержания государственного финансового контроля следует согласиться, однако, на наш взгляд, данное определение не является полным. Целесообразно было бы сделать акцент на принципах законности при проверке своевременности и точности финансового планирования, выделить борьбу с коррупцией как важнейшее направление государственного управления в финансовой сфере на этапе мобилизации, распределения, перераспределения и расходования финансовых средств государства.

По мнению Н.И. Химичевой, «финансовый контроль – это контроль за соблюдением законности и целесообразности действий в области образования, распределения и использования государственных, муниципальных и иных денежных фондов (финансовых ресурсов) публичного характера в целях эффективного социально-экономического развития страны в целом и ее регионов» [3, с.78].

Поскольку одной из ключевых задач государственного финансового контроля является выявление и пресечение коррупционных действий, обеспечение прозрачности и подотчетности в сфере финансовых операций, считаем целесообразным

на законодательном уровне дополнить определение понятия государственный финансовый контроль словами более точным содержанием: «государственный финансовый контроль – это система мероприятий, направленных на проверку и оценку использования государственных финансовых ресурсов, соблюдение бюджетного законодательства, а также эффективное и целевое расходование финансовых средств государства».

В важнейшем документе стратегического планирования – Стратегии экономической безопасности Российской Федерации, утверждённой на период до 2030 года, выделяются основные угрозы экономической безопасности: несбалансированность национальной бюджетной системы; высокий уровень криминализации и коррупции в экономической сфере; сохранение значительной доли теневой экономики [4].

С целью совершенствования правового регулирования государственного финансового контроля, считаем обоснованным разработать программный документ, отражающий долгосрочную перспективу и приоритетные направления развития государственного финансового контроля в Российской Федерации – Концепцию государственного финансового контроля, как совокупность общепринятых взглядов на его цель, задачи, формы, методы организацию и осуществление.

Во-первых, в Концепции необходимо будет закрепить понятие данной правовой категории и выделить такие основные цели государственного финансового контроля как:

- оценка результативности и целесообразности использования бюджетных средств для достижения максимального эффекта от их расходования;
- обеспечение открытости финансовых операций для повышения доверия граждан к государственным финансовым институтам;
- проведение анализа государственного управления финансовой деятельностью с целью выявления рисков осуществления финансовых операций;
- выявление и предотвращение коррупционных действий, нецелевого расходования и хищений бюджетных средств в целях совершенствования процессов образования, распределения и использования денежных фондов государства, муниципальных

образований, предприятий, учреждений, организаций и физических лиц.

Комплексная федеральная программа для реализации государственного финансового контроля в настоящее время отсутствует.

Кроме того, разработать и принять Федеральный закон «О финансовом контроле», который станет единой нормативной правовой основой, регулирующей деятельность контрольно-надзорных органов.

Во-вторых, принятие единой нормативной правовой базы будет способствовать структурным и функциональным изменениям в системе государственного финансового контроля и существенно повысить эффективность контрольно-надзорных мероприятий в Российской Федерации в целом и в субъектах Российской Федерации в частности.

Принятие Концепции государственного финансового контроля и Федерального закона «О финансовом контроле» будут способствовать созданию эффективной системы государственного финансового контроля, способствующей обеспечению финансовой безопасности государства и стабильному экономическому развитию субъектов Российской Федерации.

Список источников

1. Бюджетный кодекс Российской Федерации [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_19702/ – Сайт «Консультант Плюс» (дата обращения 12.10.24)

2. Ильин, А.Ю. Механизм правового регулирования внутреннего государственного

финансового контроля: Монография / А.Ю. Ильин, В.В. Котов, М.А. Моисеенко. – М.: Проспект, 2014. – 96 с.

3. Финансовое право: Учебник / Отв. ред. Н.И. Химичева. – М.: Норма, 2023. – 463 с.

4. Стратегия экономической безопасности Российской Федерации на период до 2030 года, утвержденная Указом Президента Российской Федерации от 13 мая 2017 г. № 208 [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_216629/ – Сайт «КонсультантПлюс» (дата обращения 12.10.24)

References

1. Budget Code of the Russian Federation [Electronic resource] – Access mode: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_19702/ – Consultant Plus website (accessed 12.10.24)

2. Ilyin, A.Y. The mechanism of legal regulation of internal state financial control: A monograph / A.Y. Ilyin, V.V. Kotov, M.A. Moiseenko. – M.: Prospect, 2014. – 96 p.

3. Financial law: textbook / Ed. red. N.And. Chemicheva. - M. Norma, 2023. - 463 p.

4. The Strategy of Economic Security of the Russian Federation for the period up to 2030, approved by Decree of the President of the Russian Federation dated May 13, 2017 No. 208 [Electronic resource] – Access mode: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_216629/ – ConsultantPlus website (accessed 12.10.24)

Статья поступила в редакцию 30.10.2024

Информация об авторе

Чунихина Людмила Николаевна, кандидат юридических наук, доцент кафедры предпринимательского права и арбитражного процесса Юридического института Луганского государственного университета имени Владимира Даля, г. Луганск.

E-mail: brifing.pravo@mail.ru

Information about the author

Chunikhina Lyudmila Nikolaevna, PhD in Law, Associate Professor of the Department of Business Law and Arbitration at the Law Institute of the Lugansk Vladimir Dahl State University, Lugansk.

E-mail: brifing.pravo@mail.ru

Для цитирования:

Чунихина Л. Н. Правовые основы государственного финансового контроля в российской федерации // Вестник Луганского государственного университета имени Владимира Даля. – 2024. – № 11(89). – С. 135-137.

For citation:

Chunikhina L. N. Legal framework state financial control in the Russian Federation // Vestnik of Lugansk State University named after Vladimir Dahl. – 2024. – № 11(89). – P. 135-137.

УДК 656.13

СОВРЕМЕННОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ О МОДЕЛИРОВАНИИ ТРАНСПОРТНОГО ДВИЖЕНИЯ ПРИ ПОМОЩИ КЛЕТОЧНЫХ АВТОМАТОВ

Юшков Н. В.

MODERN CONCEPT OF MODELING TRAFFIC BY USING CELLULAR AUTOMATA

Iushkov N. V.

Аннотация. Проведен анализ микроскопического моделирования в рамках клеточных автоматов на примере модели Нагеля-Шрекенберга. Рассмотрены основные исследования в данной области. Описаны подходы разных авторов к моделированию транспортного движения с учетом влияния различных факторов. Указаны некоторые аспекты совершенствования модели Нагеля-Шрекенберга, связанные с учетом многообразия поведения водителей, интеграции транспортных систем, наличия разных сценариев и введением экономических стимулов для предотвращения заторовых ситуаций.

Ключевые слова: транспортный поток, поток жидкости, затор, общественный транспорт, интеллектуальная транспортная система, микроскопическая модель, клеточные автоматы.

Abstract. The analysis of microscopic modeling within the framework of cellular automata is carried out using the Nagel-Schreckenberg model as an example. The main studies in this area are considered. The approaches of different authors to modeling of traffic taking into account the influence of various factors are described. Some aspects of improving the Nagel-Schreckenberg model related to taking into account the diversity of driver behavior, integration of transport systems, the presence of different scenarios and the introduction of economic incentives to prevent congestion are indicated.

Key words: traffic flow, fluid flow, congestion, public transport, intelligent transport system, microscopic model, cellular automata.

Введение. Одной из важных проблем, с которой сталкивается общественный транспорт, являются заторы. Современные технологии по управлению дорожным движением достаточно эффективно справляются с задачей снижения плотности транспортных потоков в критических ситуациях, однако, остается много вопросов, связанных с движением общественного транспорта (ОТ) в условиях многополосной загруженности и необходимостью смены полосы дороги для поддержания необходимой скорости с целью выполнения установленного расписания движения.

Одним из наиболее перспективных направлений в поиске решения данной задачи является моделирование. Если существует необходимость в детальном анализе процесса движения и его изменение во времени, то

применяют имитационные модели [1-4]. В зависимости от уровня моделирования выделяют микроскопические, мезоскопические и макроскопические модели. Последний класс связан с гидродинамической аналогией и характеризует движение автомобилей как поток одномерной сжимаемой жидкости с условием сохранения и взаимоднозначной связи между скоростью и плотностью транспортного потока. Микроскопические модели определяют закономерности движения отдельных автомобилей, что позволяет создать более гибкую модель для описания различных процессов транспортного потока [5].

Целью работы является анализ применения клеточных автоматов при моделировании транспортного движения в научных исследованиях и установление

направлений дальнейшего усовершенствования моделей.

Изложение основных материалов. Особый интерес представляют модели клеточных автоматов для анализа движения транспортных средств, которые в форме клеток перемещаются на двумерной сетке с набором некоторых правил. При этом пространство и время дискретны, а состояние сетки обновляется с течением времени. Положение ячеек в следующий период зависит от положения соседних ячеек и, возможно, от собственного состояния ячейки в данный момент времени [6].

Наиболее широко известна модель Нагеля-Шрекенберга, которая с 1992 года стала использоваться в транспортном моделировании [4-8]. Ранее данная концепция имела применение к отдельным дорожным ситуациям на относительно небольших расстояниях. Это позволяло удобным образом закладывать любую стратегию водителей в отсутствии больших затрат вычислительной техники [5]. Стоит отметить, что на данном этапе развития информационных технологий есть возможности усовершенствовать существующие модели для анализа движения на больших улично-дорожных сетях (УДС).

Упомянутая модель Нагеля-Шрекенберга предусматривает движение на однополосной дороге. Частицы, которые заменяют автомобили, перемещаются из одной ячейки в другую, которая свободна, в определенном направлении. При этом транспортные средства не могут совершать обгоны. В данной модели

обновление состояние сетки происходит в четыре шага:

1. Ускорение. Условие связано с желанием водителя получить максимально возможную скорость:

$$V_i \rightarrow \min(V_i + 1, V_{\max}), \quad (1)$$

где i – автомобиль; V_i – скорость автомобиля.

2. Торможение. Условие выражает необходимость соблюдения безопасной расстояния до впереди едущего автомобиля:

$$V_i \rightarrow \min(V_i, D_i - 1) \quad (2)$$

где D_i – расстояние до впереди идущего автомобиля.

3. Случайные возмущения. Скорость ТС уменьшается на единицу с определенной вероятностью p в случае положительной скорости автомобиля:

$$V_i \rightarrow \max(V_i - 1, 0) \quad (3)$$

4. Движение. Каждый автомобиль перемещается вперед на такое количество клеток (ячеек), которое соответствует его новой скорости после завершения предыдущих шагов:

$$X_i \rightarrow X_i + V_i \quad (4)$$

На рис. 1 представлено графическое изображение модели многополосного клеточного автомата. Скорость определяет фиксированное количество клеток, на которое перемещается автомобиль.

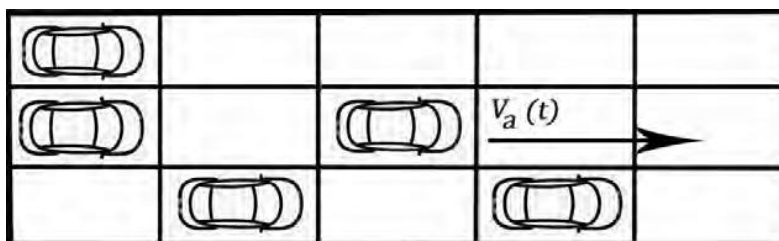


Рис. 1. Многополосный транспортный клеточный автомат [7]

Результаты исследований. Особое внимание в данном контексте заслуживают модели, которые имитируют поведение транспортных потоков на многополосных дорогах. Одним из заметных подходов к этой задаче является использование клеточных автоматов, как продолжение исследований, проведенных в работе [8]. В основе такой модели лежит набор правил, разработанных для

однополосной дороги, с добавлением условий, регулирующих смену полосы движения.

Процесс моделирования осуществляется в два последовательных этапа, чтобы учесть взаимодействие автомобилей в многополосной среде:

1. Этап проверки возможности смены полосы. На этом этапе каждой машине предоставляется возможность оценить, может ли она безопасно перестроиться на соседнюю

полосу. Это движение вбок, строго говоря, не имеет физического смысла, поскольку автомобили не способны перемещаться в поперечном направлении, однако этот этап играет важную роль в сочетании с последующим. Важно, что на этом шаге происходит параллельное обновление, где каждый водитель принимает решение о смене полосы на основе текущего распределения автомобилей на дороге.

2. Этап обновления на каждой полосе. На этом этапе, после завершения первого, происходит независимое обновление поведения автомобилей, соответствующее правилам для однополосной модели. Конфигурация на этом этапе уже учитывает возможные смены полос, произведённые в первом. Ключевыми условиями для перестроения являются:

1) перед автомобилем на расстоянии, равном или меньшем безопасному, движется другая машина.

2) на соседней полосе впереди на безопасном расстоянии отсутствуют другие автомобили.

3) на соседней полосе позади, также на безопасном расстоянии, отсутствует другая машина, что предотвращает помехи текущему автомобилю в процессе смены полосы.

Дополнение модели условиями для соседней полосы (дистанция до предшественника и до лидера) позволяет более точно описывать сценарии движения.

Введение возможности смены полосы в модели порождает некоторые интересные побочные эффекты, среди которых выделяется явление «пинг-понг смены полосы». Это происходит, когда в начальной конфигурации все автомобили находятся на одной полосе. При достаточно высокой плотности, машины выстраиваются друг за другом на безопасном расстоянии, тем самым выполняя первое условие смены полосы. Поскольку на соседней полосе в этот момент автомобилей нет, они начинают перестраиваться. Этот процесс может создать цепную реакцию перестроений, получившую название «кооперативного пинг-понг эффекта».

В работе [9] предложена новая модель, которая воссоздает поведение транспортного потока на двухполосной дороге, где каждая полоса предназначена для движения в противоположных направлениях.

В работе [5] была разработана многополосная модель, являющаяся

дальнейшим усовершенствованием одномерной модели Нагеля-Шрекенберга, которая обобщается на двумерный случай.

В многополосной модели допускаются как изменения полос, так и обгоны. Процесс обновления состояний ячеек заключается в двух основных этапах:

- переход в другую полосу, если это необходимо и возможно;

- движение вперед в соответствии с правилами однополосного движения.

В двумерной микроскопической модели выделяются два вероятностных параметра: вероятность спонтанного снижения скорости, основанная на модели Нагеля-Шрекенберга, и вероятность остаться в своей полосе, когда смена полосы доступна и выгодна для водителя.

Модель позволяет автомобилям достигать своих целей. Целями могут быть, например, съезд с дороги или поворот на светофоре в определенном направлении. В обоих случаях автомобили, начиная с заданного момента, стремятся перебраться в нужную полосу, не учитывая при этом плотность и скорость на ней. Таким образом, в данной модели для каждого автомобиля необходимо учитывать параметр его цели. Некоторые из них не могут достичь предназначенного направления, если не успевают сменить полосу, из которой разрешен поворот или съезд. Это может произойти, если необходимая полоса оказывается занята другими автомобилями.

Модель предлагает гибкий подход к достижению целей автомобилей: количество машин, которые не достигли своей цели, может сократиться благодаря разрешению поворотов из нескольких полос, усложнению алгоритма смены полосы или введению системы «вежливого водителя». Этот алгоритм обязывает водителей в целевой полосе пропускать автомобили, намеревающиеся перестроиться.

В работе [10] проведено многофакторное исследование автотранспортных потоков на основе клеточных автоматов. Были созданы модели, учитывающие как структуру автомобильного потока (легковые, грузовые, автобусы), так и влияние состояния дорожной поверхности на динамику трафика и скоростные лимиты.

Выводы. Несмотря на большое количество новых и усовершенствованных моделей транспортных клеточных автоматов, данная

область исследований остается не до конца изученной и проработанной. Это связано с тем фактом, что с увеличением внедряемых факторов сложность моделей возрастает, что повышает требования к вычислительным ресурсам современных компьютерных технологий. Каждое исследование акцентируется на определенном наборе факторов с некоторыми допущениями и упрощениями, что может ограничить практическую значимость работ.

Приведем список некоторых аспектов, учет которых может приблизить имитационные модели к реальным условиям движения транспортных средств:

1. Сложность и разнообразие поведения водителей, действия которых продиктовано совокупностью внутренних и внешних воздействий. Например, нельзя категорично разделить вождение водителей на «агрессивное» и «спокойное». т.к. зачастую имеет место синтез разного поведения.

2. Погодные условия, время суток.

3. Интеграция различных транспортных систем (общественный транспорт, пешеходы, велосипедисты и т.д.)

4. Экономические стимулы для снижения заторов или влияние на окружающую среду.

5. Наличие разных сценариев, которые учитывают, например, стихийные бедствия или крупные мероприятия, что оказывает влияние на состояние транспортного потока.

Список источников

1. Исаева, Е.И. Повышение эффективности использования автомобилей с учетом вероятности возникновения транспортных заторов : дис. ... канд. техн. наук : 05.22.10 / Исаева Екатерина Игоревна ; науч. рук. В.Н. Басков ; СГТУ имени Гагарина Ю.А. – Орёл, 2017. – 174 с.

2. Изюмский, А. А. Применение имитационного моделирования в сфере моделирования транспортных потоков / А. А. Изюмский, С. Л. Надирян, И. С. Сенин // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2016. – № 1. – С. 52-54. – EDN VUSSKH.

3. Захаров, Н. С. О моделировании транспортных потоков / Н. С. Захаров, А. А. Балин // Проблемы эксплуатации и обслуживания транспортно-технологических машин : Материалы международной научно-технической конференции, Тюмень, 14 апреля 2008 года. – Тюмень: Тюменский государственный нефтегазовый университет, 2008. – С. 55-59. – EDN UDPIOJ.

4. Мызникова, Т. А. Моделирование транспортных потоков города на основе клеточных автоматов / Т. А. Мызникова, Д. Ю. Долгушин // Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии. – 2008. – № 2(8). – С. 18-22. – EDN PBQADT.

5. Чечина, А.А. Математическое моделирование транспортных потоков на основе теории клеточных автоматов : дис. ... канд. техн. наук : 05.13.18 / Чечина Антонина Александровна ; науч. рук. Н.Г. Чурбанова ; ИПМ им. М.В. Келдыша РАН – Москва, 2021. – 136 с.

6. Омарова, Г. А. Применение клеточных автоматов для моделирования транспортных потоков / Г. А. Омарова, Г. Ю. Казанцев // Проблемы информатики. – 2015. – № 3(28). – С. 15-21. – EDN TBEFSZ.

7. Трямкина, А. В. Клеточно-автоматное моделирование транспортных развязок / А. В. Трямкина // XIX международные научные чтения (памяти Ухтомского А.А.): сборник статей Международной научно-практической конференции, Москва, 01 декабря 2017 года. – Москва: ООО "Европейский фонд инновационного развития", 2017. – С. 38-41. – EDN ZVVJRV.

8. Rickert M., Nagel K., Schreckenberg M., Latour A. Two lane traffic simulations using cellular automata // Physica A, Volume 231, Number 4, 1 October 1996. – P. 534-550(17).

9. Simon P.M., Gutowitz H.A., 1998. A cellular automaton model for bi-directional traffic // Phys. Rev. E 57, P. 2441-2444.

10. Долгушин, Д.Ю. Многофакторное моделирование автотранспортных потоков на основе клеточных автоматов : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.13.18 / Долгушин Дмитрий Юрьевич ; СибАДИ. – Омск, 2011. – 20 с.

References

1. Isaeva, E.I. Povyshenie jeffektivnosti ispol'zovaniya avtomobilej s uchetom verojatnosti vznikno-venija transportnyh zatorov : dis. ... kand. tehn. nauk : 05.22.10 / Isaeva Ekaterina Igorevna ; nauch. ruk. V.N. Baskov ; SGTU imeni Gagarina Ju.A. – Orjol, 2017. – 174 s.

2. Izjumskij A. A. Primenenie imitacionnogo modelirovanija v sfere modelirovanija transportnyh potokov / A. A. Izjumskij, S. L. Nadirjan, I. S. Senin // Nauka. Tehnika. Tehnologii (politehnicheskij vestnik). – 2016. – № 1. – S. 52-54. – EDN VUSSKH.

3. Zaharov N. S. O modelirovanii transportnyh potokov / N. S. Zaharov, A. A. Balin // Problemy jekspluatcii i obsluzhivanija transportno-tehnologicheskikh ma-shin : Materialy mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferencii,

Tjumen', 14 aprlja 2008 goda. – Tjumen': Tjumenskij gosudarstvennyj neftegazovij universitet, 2008. – S. 55-59. – EDN UDPIOJ.

4. Myznikova T. A. Modelirovanie transportnyh potokov goroda na osnove kletochnyh avtomatov / T. A. Myznikova, D. Ju. Dolgushin // Vestnik Sibirskoj gosudarstvennoj avtomobil'no-dorozhnoj akademii. – 2008. – № 2(8). – S. 18-22. – EDN PBQADT.

5. Chechina A.A. Matematicheskoe modelirovanie transportnyh potokov na osnove teorii kletochnyh avtomatov : dis. ... kand. tehn. nauk : 05.13.18 / Chechina Antonina Aleksandrovna ; nauch. ruk. N.G. Churbanova ; IPM im. M.V. Keldysha RAN – Moskva, 2021. – 136 s.

6. Omarova G. A. Primenenie kletochnyh avtomatov dlja modelirovanija transportnyh potokov / G. A. Omarova, G. Ju. Kazancev // Problemy informatiki. – 2015. – № 3(28). – S. 15-21. – EDN TBEFSZ.

7. Trjamkina, A. V. Kletочно-автоматное моделирование транспортныh razvjazok / A. V.

Trjamkina // XIX mezhdunarodnye nauchnye chtenija (pamjati Uhtomskogo A.A.) : sbornik statej Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii, Moskva, 01 dekabnja 2017 goda. – Moskva: OOO "Evropejskij fond innovacionnogo razvitija", 2017. – S. 38-41. – EDN ZVVJRV.

8. Rickert M., Nagel K., Schreckenberg M., Latour A. Two lane traffic simulations using cellular automata // Physica A, Volume 231, Number 4, 1 October 1996, P. 534-550(17).

9. Simon P.M., Gutowitz H.A., 1998. A cellular automaton model for bi-directional traffic // Phys. Rev. E 57, P. 2441-2444.

10. Dolgushin, D.Ju. Mnogofaktornoe modelirovanie avtotransportnyh potokov na osnove kletochnyh avtomatov : avtoref. dis. ... kand. tehn. nauk : 05.13.18 / Dolgushin Dmitrij Jur'evich ; SibADI. – Omsk, 2011. – 20 s.

Статья поступила в редакцию 22.09.2024

Информация об авторе

Юшков Никита Владимирович, ассистент кафедры «Транспортные технологии» Автомобильно-дорожного института (филиала) ДонНТУ в г. Горловка.
E-mail: nik.yushkov.97@mail.ru

Information about the author

Iushkov Nikita Vladimirovich, assistant of the Transport Technologies Department of the Automobile and Road Institute (branch) of «Donetsk National Technical University» in Gorlovka.
E-mail: nik.yushkov.97@mail.ru

Для цитирования:

Юшков Н. В. Современное представление о моделировании транспортного движения при помощи клеточных автоматов // Вестник Луганского государственного университета имени Владимира Даля. – 2024. – № 11(89). – С. 138-142.

For citation:

Iushkov N. V. Modern concept of modeling traffic by using cellular automata // Vestnik of Lugansk State University named after Vladimir Dahl. – 2024. – № 11(89). – P. 138-142.

УДК 004.415.25

АНАЛИЗ ОТЛАДОЧНЫХ API ОС WINDOWS И ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ ОТЛАДЧИКА ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКОГО РЕЖИМА С ВОЗМОЖНОСТЬЮ ПЕРЕХВАТА ВЫЗОВОВ ЭКСПОРТИРУЕМЫХ ИЗ DLL ФУНКЦИЙ. ЧАСТЬ 2

Захарчук И. А., Захарчук А. С.

ANALYSIS OF WINDOWS DEBUGGING APIS AND THEIR USAGE FOR BUILDING A USER-MODE DEBUGGER WITH THE ABILITY TO INTERCEPT CALLS OF FUNCTIONS EXPORTED FROM DLL. PART 2

Zakharchuk I. A, Zakharchuk A. S.

Аннотация. Во второй части данной статьи мы расширим функционал простейшего отладчика, созданного в первой части, добавив к нему возможность обрабатывать исключения сгенерированные точками останова, и затем с помощью них перехватывать вызовы функций экспортируемых из DLL. Знания об API функциях, которые программа вызывает, может многое рассказать о её работе. Если программа будет пользоваться несвойственными для неё функциями, например, текстовый редактор будет пытаться запустить удаленный поток в другом процессе, то это будет свидетельствовать о том, что она заражена вирусом. В этой части мы не будем анализировать, какие параметры передаются в функцию при вызове и какие получаются, оставив эту задачу для третьей части данной статьи, здесь же мы будем устанавливать сам факт вызова функции.

Ключевые слова: Отладчик пользовательского режима. Отладочные API WINDOWS. Точка останова. Пошаговая отладка. Контекст потока. Перехват вызовов функций. Экспортируемые из DLL функции.

Abstract. In the second part of this article, we will expand the functionality of the simplest debugger created in the first part by adding the ability to handle exceptions generated by breakpoints and then use them to intercept calls to functions exported from DLLs. Knowledge of the API functions that the program calls can tell us a lot about its operation. If a program uses functions that are not typical for it, for example, a text editor tries to launch a remote thread in another process; it will indicate that it is infected with a virus. In this part, we will not analyze what parameters are passed to the function upon invocation and what is returned, leaving this task for the third part of this article; here, we will establish the very fact of the function call.

Key words: User mode debugger. Windows debugging APIs. Breakpoint. Step debugging. Thread context. Intercepting function calls. Functions exported from DLL.

Обработка точек останова (Breakpoint)

Точка останова (Breakpoint) – команда в коде программы, останавливающая выполнение программы и передающая управление отладчику. Для процессоров IA-32 (x86 и т.д.) точка останова соответствует команде ассемблера `int 3` или коду операции `0xcc`. То есть если при выполнении программы процессору встречается инструкция с кодом `0xcc`, то он останавливает выполнение программы и генерирует исключение точки останова, затем это исключение передаётся

отладчику. Фактически отладчик получает событие отладки, содержащее структуру `EXCEPTION_DEBUG_INFO`, которая информирует о типе исключения и несёт также дополнительную информацию. Обработка исключений в Windows построена весьма витиевато, поэтому мы остановимся только на её элементах, которые представляют важность для решения нашей задачи, более подробную информацию можно получить в источниках [2] и [3].

```
typedef struct _EXCEPTION_DEBUG_INFO {
    EXCEPTION_RECORD ExceptionRecord;
    DWORD dwFirstChance;
} EXCEPTION_DEBUG_INFO, *LPEXCEPTION_DEBUG_INFO;
```

[ExceptionRecord](#). Указатель на структуру EXCEPTION_RECORD которая рассмотрена ниже.

```
typedef struct _EXCEPTION_RECORD {
    DWORD ExceptionCode;
    DWORD ExceptionFlags;
    struct _EXCEPTION_RECORD *ExceptionRecord;
    PVOID ExceptionAddress;
    DWORD NumberParameters;
    ULONG_PTR ExceptionInformation[EXCEPTION_MAXIMUM_PARAMETERS];
} EXCEPTION_RECORD, *PEXCEPTION_RECORD;
```

[ExceptionCode](#). Тип исключения, которое произошло. Типов исключений великое множество, например, деление на ноль, попытка записи в запрещенный для записи участок памяти, переполнение регистра при арифметических действиях. Нас интересует точка останова, и поэтому мы будем обрабатывать только те исключения, у которых это поле равно константе EXCEPTION_BREAKPOINT.

[ExceptionAddress](#). Адрес, по которому произошло исключение.

Перехват вызовов функций экспортируемых из DLL.

Теперь, когда принцип действия точек останова нам известен, можно приступить к перехвату API функций. Сначала нам необходимо узнать адрес начала тела функции. Для этого мы спроецируем DLL, в котором находится функция в адресное пространство отладчика с помощью функции LoadLibrary (если только эта DLL ещё в него не загружена), а затем с помощью функции GetProcAddress найдём адрес начала функции. Отняв из адреса начала функции адрес начала проекции DLL получим относительный адрес функции от начала проекции DLL. Затем к этому адресу прибавим адрес проекции DLL в адресном пространстве отлаживаемого процесса и получим адрес начала функции в отлаживаемом процессе. Рассмотрим подробнее функции LoadLibrary и GetProcAddress.

Функция LoadLibrary загружает в адресное пространство процесса DLL.

```
HMODULE LoadLibrary(
    LPCTSTR lpFileName
);
```

[lpFileName](#). Имя загружаемой DLL.

Функция GetProcAddress возвращает адрес функции в загруженной DLL.

```
FARPROC GetProcAddress(
    HMODULE hModule,
    LPCSTR lpProcName
);
```

[hModule](#). Описатель загруженной DLL.

[lpProcName](#). Имя функции.

Итак, у нас есть адрес начала функции. Теперь, чтобы перехватить вызов функции достаточно поставить в начале тела функции точку останова, то есть записать по найденному адресу код 0xcc. Но тут может возникнуть проблема, страница памяти, в которую мы хотим сделать запись, может быть защищена от записи.

Нам необходимо с помощью функции VirtualQueryEx узнать атрибуты защиты страницы и если для них не установлен флаг PAGE_EXECUTE_READWRITE или PAGE_EXECUTE_WRITECOPY, то с помощью функции VirtualProtectEx установить флаг PAGE_EXECUTE_READWRITE.

Функция VirtualQueryEx предоставляет информацию о регионе страниц в виртуальном адресном пространстве определённого процесса.

```
DWORD VirtualQueryEx(
    HANDLE hProcess,
    LPCVOID lpAddress,
    PMEMORY_BASIC_INFORMATION lpBuffer,
    DWORD dwLength
);
```

[hProcess](#). Описатель процесса в виртуальном адресном пространстве, которого находится интересующая нас страница.

[lpAddress](#). Указатель на интересующий нас адрес памяти.

[lpBuffer](#). Указатель на структуру MEMORY_BASIC_INFORMATION, которая содержит информацию об интересующем нас регионе.

[dwLength](#). Размер, в байтах, структуры MEMORY_BASIC_INFORMATION.

Структура MEMORY_BASIC_INFORMATION выглядит следующим образом:

```
typedef struct _MEMORY_BASIC_INFORMATION {
    PVOID BaseAddress;
    PVOID AllocationBase;
    DWORD AllocationProtect;
    SIZE_T RegionSize;
    DWORD State;
    DWORD Protect;
    DWORD Type;
} MEMORY_BASIC_INFORMATION,
*PMEMORY_BASIC_INFORMATION;
```

[BaseAddress](#). Указатель на начало региона.

[AllocationProtect](#). Содержит атрибуты защиты для данного региона.

[RegionSize](#). Определяет размер региона, считая от начала региона и для всех последующих страниц имеющих такие же атрибуты защиты.

Остальные поля нам для перехвата вызова функции не понадобятся.

Функция VirtualProtectEx изменяет атрибуты защиты региона страниц в виртуальном адресном пространстве указанного процесса.

```
BOOL VirtualProtectEx(
    HANDLE hProcess,
    LPVOID lpAddress,
    SIZE_T dwSize,
    DWORD flNewProtect,
    PDWORD lpflOldProtect
);
```

[hProcess](#). Описатель процесса в виртуальном адресном пространстве, которого находится интересующая нас страница.

[lpAddress](#). Указатель на базовый адрес региона, атрибуты защиты которого мы хотим изменить.

[dwSize](#). Размер региона.

[flNewProtect](#). Атрибуты защиты, которые мы хотим установить.

[lpflOldProtect](#). Старые атрибуты защиты региона. Данный параметр всегда необходимо указывать, иначе функция не будет работать.

Установив точку останова в начале тела функции, мы фактически решили задачу перехвата вызова функции. Каждый раз, когда функция будет вызвана, мы будем получать сообщение об исключении точки останова, но поскольку, мы записали её прямо в код программы, значит, мы затёрли какую-то инструкцию, которая влияла на ход выполнения программы, поэтому программа будет работать совершенно непредсказуемо, если

вообще будет работать. Но это проблему легко обойти, так как все процессоры линейки x86 поддерживают пошаговую отладку. Пошаговая отладка – это режим отладки, при котором после выполнения каждой инструкции генерируется соответствующее исключение. То есть при пошаговой отладке мы можем выполнять программу по одной инструкции. Для того чтобы перевести процессор в данный режим необходимо установить флаг TF в регистре флагов (TF соответствует 8-му биту в регистре флагов).

Для этого нам также понадобится структура CONTEXT, называемая контекстом потока.

Структура CONTEXT(контекст потока) хранит данные о состоянии регистров с учётом специфики конкретного процессора. Система сохраняет в ней состояние потока перед самым отключением его от процессора, благодаря чему его выполнение возобновляется с того места, где было прервано. Для процессоров x86 структура CONTEXT выглядит следующим образом:

```
typedef struct _CONTEXT {
    //
    DWORD ContextFlags;
    //Регистры отладки
    DWORD Dr0;
    DWORD Dr1;
    DWORD Dr2;
    DWORD Dr3;
    DWORD Dr6;
    DWORD Dr7;
    //Регистры с плавающей точкой
    FLOATING_SAVE_AREA FloatSave;
    //Сегментные регистры
    DWORD SegGs;
    DWORD SegFs;
    DWORD SegEs;
    DWORD SegDs;
    //Основные регистры
    DWORD Edi;
    DWORD Esi;
    DWORD Ebx;
    DWORD Edx;
    DWORD Ecx;
    DWORD Eax;
    //Управляющие регистры
    DWORD Ebp;
    DWORD Eip;
    DWORD SegCs;
    DWORD EFlags;
    DWORD Esp;
    DWORD SegSs;
    //Дополнительные регистры
    BYTE
    ExtendedRegisters[MAXIMUM_SUPPORTED_EXTE
    NSION];
} CONTEXT;
```

ContextFlags. Флаги, управляющие содержимым записи CONTEXT. При модификации или захвате контекста потока будут использоваться те поля, для которых установлены соответствующие флаги в данном поле. Мы будем использовать флаг CONTEXT_FULL, разрешает использование всех регистров кроме отладочных.

Остальные поля соответствуют названиям регистров процессора.

Контекст потока извлекается и модифицируется функциями GetThreadContext и SetThreadContext соответственно.

```
BOOL GetThreadContext(
    HANDLE hThread,
    LPCONTEXT lpContext
);
```

```
BOOL SetThreadContext(
    HANDLE hThread,
    CONST CONTEXT *lpContext
);
```

[hThread](#). Описатель потока.

[lpContext](#). Указатель на структуру CONTEXT.

Итак, чтобы программа после установки точки останова работа также как до установки, необходимо предпринять следующие действия:

1. При получении исключения точки останова, извлечь контекст потока и уменьшить на единицу значения регистра Eip (Регистр Eip содержит адрес текущей инструкции). Уменьшать регистр Eip мы будем на единицу, так как точка останова занимает только один байт.
2. Вместо точки останова записать значение, которое там было до этого.
3. Перевести процессор в режим пошаговой отладки. Для этого устанавливаем 8-й байт в поле EFlags.
4. Отчистить кеш инструкций процессора с помощью функции FlushInstructionCache.
5. Модифицируем контекст потока и заканчиваем обработку данного исключения.
6. Получить исключение пошаговой отладки. Когда мы получим это сообщение инструкция, на месте которой находилась точка останова, будет уже выполнена, и мы можем на её место опять записать точку останова. При возникновении исключения пошаговой отладки Windows сама снимает флаг TF и о его снятии нам беспокоиться не надо.

Рассмотрим функцию FlushInstructionCache. Процессор при своей работе использует кэширование инструкций (то есть при обращении к памяти берёт не одну инструкцию, а ещё несколько последующих). Значит, с высокой вероятностью, инструкция с точкой останова находится в кеше и то, что мы восстановили её на изначальную в

памяти нечего не изменит. Поэтому нам надо очистить часть кеша, чтобы процессор опять обратился к памяти и прочёл правильную инструкцию. Очистку кеша и выполняет функция FlushInstructionCache.

```
BOOL FlushInstructionCache(
    HANDLE hProcess,
    LPCVOID lpBaseAddress,
    DWORD dwSize
);
```

[hProcess](#). Описатель процесса.

[lpBaseAddress](#). Указатель на начало региона, который будет отчищен. Этот параметр должен быть равен нулю.

[dwSize](#). Определяет длину, в байтах, региона, который должен быть отчищен, если предыдущий параметр не ноль.

Рассмотрим код отладчика

```
void PrintMem(HANDLE hProcess,DWORD base,int
ntek);
```

```
char* printstringProcess(HANDLE hProcess,char* adr)
{
    char* str;
    int n;
    n=strlenProcess(hProcess,adr);
    str=new char[n];
    ReadProcessMemory(hProcess,(void*)adr,str,n,NULL);
    return str;
}
```

```
char* printwstringProcess(HANDLE hProcess,char*
adr)
{
    WORD* str;
    char* s;
    int n;
    n=strlenwProcess(hProcess,adr);
    str=new WORD[n];
    ReadProcessMemory(hProcess,(void*)adr,str,2*n,NUL
L);
    s=new char[n];
    WideCharToMultiByte(CP_ACP,0,(wchar_t*)str,n,s,n,0
,0);
    delete [] str;
    return s;
}
```

```
int main(void)
{
    char filename[]="test.exe";
    int n;
    DEBUG_EVENT DebugEv;
    BYTE memcode; //В этой переменной мы сохраним
инструкцию, которую мы затрём точкой //останова
    BYTE OpcodeBreakPoint=0xcc;
```

```

DWORD adr1,adr2,funadr;
char *str,*str1;

STARTUPINFO si = { sizeof(si) };
PROCESS_INFORMATION pi;
CreateProcess(filename,NULL,NULL,NULL,NULL,D
EBUG_PROCESS,NULL,NULL,&si,&pi);

for(;;)
{
WaitForDebugEvent(&DebugEv, INFINITE);

if(DebugEv.dwDebugEventCode==LOAD_DLL_DEB
UG_EVENT)
{
str = NULL;
adr1 = 0;
if (DebugEv.u.LoadDll.lpImageName)
{
ReadProcessMemory(pi.hProcess,
(void*)DebugEv.u.LoadDll.lpImageName, &adr1,
sizeof(adr1), NULL);
if (adr1)
{
if (DebugEv.u.LoadDll.fUnicode) str =
printwstringProcess(pi.hProcess, (char*)adr1);
else str = printstringProcess(pi.hProcess, (char*)adr1);
}}

if (str) {
PatchName(str);

if (!strcmp(str, "dll1.dll"))
{
adr1 = (DWORD)LoadLibrary("dll1.dll");
adr2 = (DWORD)GetProcAddress((HMODULE)adr1,
"f1");
funadr = adr2 - adr1 +
(DWORD)DebugEv.u.LoadDll.lpBaseOfDll;
FreeLibrary((HMODULE)adr1);

PrintMem(pi.hProcess, funadr, 4);
MEMORY_BASIC_INFORMATION mbi;
VirtualQueryEx(pi.hProcess, (void*)funadr, &mbi,
sizeof(MEMORY_BASIC_INFORMATION));
if (!mbi.AllocationProtect &
(PAGE_EXECUTE_READWRITE |
PAGE_EXECUTE_WRITECOPY))
VirtualProtectEx(pi.hProcess, mbi.BaseAddress,
mbi.RegionSize, PAGE_EXECUTE_READWRITE,
&mbi.Protect);
ReadProcessMemory(pi.hProcess, (void*)funadr,
(void*)&memcode, 1, NULL);
WriteProcessMemory(pi.hProcess, (void*)funadr,
&OpcodeBreakPoint, 1, NULL);
PrintMem(pi.hProcess, funadr, 4);
}
}

//Обработка исключений
if(DebugEv.dwDebugEventCode==EXCEPTION_DEB
UG_EVENT)
{
//Обработка исключения точки останова
if(DebugEv.u.Exception.ExceptionRecord.ExceptionCo
de==EXCEPTION_BREAKPOINT&&
(DWORD)DebugEv.u.Exception.ExceptionRecord.Exc
eptionAddress==funadr)
{
printf("\ncall f1\n");

CONTEXT cont;
cont.ContextFlags=CONTEXT_FULL;

adr1=(DWORD)LoadLibrary("kernel32.dll");
adr2=(DWORD)GetProcAddress((HMODULE)adr1,"O
penThread");
adr1=(DWORD)DebugEv.dwThreadId;
HANDLE thr;
_asm{
push adr1
mov al,0
push al;
mov eax,THREAD_ALL_ACCESS
push eax
call adr2
mov thr,eax
}

GetThreadContext(thr,&cont);
WriteProcessMemory(pi.hProcess,(void*)funadr,(void*
)&memcode,1,NULL);
cont.Eip--;
cont.EFlags|=0x100;
SetThreadContext(thr,&cont);
FlushInstructionCache(pi.hProcess,NULL,1);
PrintMem(pi.hProcess,funadr,20);
}

//Обработка исключения пошаговой отладки
if(DebugEv.u.Exception.ExceptionRecord.ExceptionCo
de==EXCEPTION_SINGLE_STEP)
{WriteProcessMemory(pi.hProcess,(void*)funadr,&Opc
odeBreakPoint,1,NULL);
PrintMem(pi.hProcess,funadr,20);
}

if(DebugEv.dwDebugEventCode==EXIT_PROCESS_
DEBUG_EVENT)
{break;}
ContinueDebugEvent(DebugEv.dwProcessId,DebugEv.
dwThreadId, DBG_CONTINUE);
}
return 0;
}

```

```
void PrintMem(HANDLE hProcess, DWORD base, int
nstek)
{
BYTE* stek = new BYTE[nstek];

ReadProcessMemory(hProcess, (void*)(base), stek,
nstek, NULL);

printf("\n%p ", base);
for (int i = 0; i < nstek; i++)
    printf("%x ", stek[i]);

delete[] stek;
}
```

Ниже приведён код программы, которую мы отлаживаем:

```
extern "C" __declspec(dllimport) void f1(void);

int main(void)
{
f1();
return 0;
}
```

Код DLL. Функция, которую мы перехватываем, имеет следующий вид:

```
extern "C" __declspec(dllexport) void f1(void);

void f1(void)
{int i=0;
i++;}
```

Остаётся только пояснить назначение функции PrintMem. Данная функция выводит на консоль участок памяти другого процесса. Первым её параметром является описатель процесса, вторым – начальный адрес региона памяти, третьим – длина этого региона. Мы её вызываем в программе 4 раза, для того чтобы точнее показать работу программы. Первый раз мы показываем начало тела функции до модернизации, затем после установки точки останова, затем когда возвращаем всё в исходное состояние для того чтобы функция могла выполняться, и последний раз когда снова устанавливаем точку останова.

При запуске программы получим следующий результат:

```
10001005 e9 16 1b 1
10001005 cc 16 1b 1
```

Function f1 has been called

```
10001005 e9 16 1b 1
10001005 cc 16 1b 1
```

Как видно, функция f1 находится по адресу 10001005, далее следует машинный код функции до модернизации. Затем в начало функции отладчик устанавливает точку останова, её код 0хсс, что мы можем видеть во второй строчке. Далее отладчик сообщает нам о вызове функции и возвращает код функции к первоначальному виду (строка 4), чтобы функция могла корректно выполнить свою первую инструкцию. После получения сообщения об исключении пошаговой отладки, отладчик устанавливает точку останова назад (последняя строка). В результате, мы видим, что программа работает так, как и было запланировано и перехват вызова целевой функции из DLL производится успешно.

Выводы. Таким образом, к отладчику была добавлена возможность перехватывать вызовы функций экспортируемых из DLL, в чём и состояла задача второй части данной статьи. Знание, какие функции вызывает отлаживаемая программа, уже может рассказать немало об её функциональности, но чтобы получить о её взаимодействии с операционной системой полную информацию, необходима информация какие параметры передаются в вызываемые API функции. Данная функциональность добавлена к отладчику в третьей части данной статьи.

Список источников

1. Дж. Рихтер. Windows для профессионалов: создание эффективных Win32 приложений с учетом специфики 64-разрядной версии Windows. "Русская Редакция", М. 2001.
2. Дж. Роббинс. Поиск и устранение ошибок в программах под Windows. «ДМК Пресс», М. 2005.
3. Basic Debugging. URL. <https://learn.microsoft.com/en-us/windows/win32/debug/basic-debugging> (Дата обращения: 15.05.2024).

References

- 1.J. Richter. Windows for Professionals: Creating Effective Win32 Applications Considering the Specifics of the 64-bit Version of Windows. "Russian Edition," Moscow, 2001.
- 2.J. Robbins. Debugging and Troubleshooting Windows Programs. "DMK Press," Moscow, 2005.
3. Basic Debugging. URL. <https://learn.microsoft.com/en-us/windows/win32/debug/basic-debugging> (Date of application: 15.05.2024).

Статья поступила в редакцию 30.10.2024

Информация об авторах

Захарчук Александр Сидорович, д.т.н., профессор кафедры электроэнергетики Луганского государственного университета имени Владимира Даля, г. Луганск.

E-mail: zalexsid@mail.ru

Захарчук Игорь Александрович, к.т.н., доцент кафедры электроэнергетики Луганского государственного университета имени Владимира Даля, г. Луганск.

E-mail: zax_igor_a@mail.ru

Information about the author

Zakharchuk Alexander Sidorovich, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Electrical Power Engineering at the Luhansk State University named after Vladimir Dahl, Luhansk.

E-mail: zalexsid@mail.ru

Zakharchuk Igor Alexandrovich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Electrical Power Engineering at the Luhansk State University named after Vladimir Dahl, Luhansk.

E-mail: zax_igor_a@mail.ru

Для цитирования:

Захарчук И. А., Захарчук А. С. Анализ отладочных API ОС WINDOWS и их использование для построения отладчика пользовательского режима с возможностью перехвата вызовов экспортируемых из DLL функций. Часть 2. // Вестник Луганского государственного университета имени Владимира Даля. – 2024. – № 11(89). – С. 143-149.

For citation:

Zakharchuk I. A., Zakharchuk A. S. Analysis of Windows debugging API and their usage for building a user-mode debugger with the ability to intercept calls of functions exported from DLL. Part 2 // Vestnik of Lugansk State University named after Vladimir Dahl. – 2024. – № 11(89). – P. 143-149.

УДК 130.2

КОММУНИКАТИВНАЯ КУЛЬТУРА СОВРЕМЕННОГО ЧЕЛОВЕКА В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВИЗАЦИИ: УГРОЗЫ И РИСКИ

Клипакова И. В.

THE COMMUNICATIVE CULTURE OF A MODERN PERSON IN THE CONTEXT OF DIGITALIZATION: THREATS AND RISKS

Klipakova I. V.

Аннотация. Стремительное развитие цифровых технологий заняло лидирующие позиции в жизнедеятельности современного человека и стало градообразующим механизмом в трансформации коммуникативной культуры и социокультурного пространства общества. В статье поднимается вопрос актуальности проблем, выявленных при анализе сущности коммуникативной культуры человека в условиях его цифрового обитания. Автор анализирует влияние новых метаморфоз цифровой среды, их очевидные риски, вызовы и последствия для человека и общества в целом, которые возникли в результате тотальной цифровизации.

Ключевые слова: культура, коммуникативная культура, цифровая культура, цифровая коммуникация, цифровизация, цифровая среда, искусственный интеллект, цифровая власть.

Abstract. The rapid development of digital technologies has taken a leading position in the life of a modern person and has become a city-forming mechanism in the transformation of communicative culture and the sociocultural space of society. This article raises the question of the relevance of the problems identified in the analysis of the essence of a person's communicative culture in his digital environment. The author analyzes the impact of new metamorphoses of the digital environment, their obvious risks, challenges and consequences for humans and society as a whole, which have arisen as a result of total digitalization.

Keywords: culture, communicative culture, digital culture, digital communication, digitalization, digital environment, artificial intelligence, digital power.

Введение. Современный мир характеризуется чередой постоянных изменений и появлением новых трендов, что, в свою очередь, оказывает влияние не только на формат коммуникации, но и на её культуру. Современная реальность представляется человеку во всей совокупности процессов общественного развития, и при этом выявляется такая реальность, в которой он не кто иной, как соучастник всех насущных событий. Благодаря новым цифровым трансформациям человек обрел видоизмененную форму коммуникации, которая подразумевает непосредственно и трансформацию мышления.

Система коммуникаций стала чрезвычайно актуальной темой исследования во многих научных направлениях. И на сегодняшний день роль цифровой коммуникации все больше возрастает, из новомодного тренда она превратилась в масштабную отрасль, которая охватывает практически все сферы деятельности человека, значимость которой стала признанной во всем мире. Средства цифровой коммуникации позволяют проводить обучение, содействуют созданию творческих проектов, развитию бизнеса, налаживанию межкультурного и межличностного

взаимодействия. В век глобализации цифровая коммуникация действительно стала эффективным инструментом в преодолении разного рода проблем и барьеров, что, несомненно, заслуживает пристального внимания мировой общественности.

В конце 20 века ученые полагали, что с появлением цифровых коммуникаций ранее существовавшие средства коммуникации, само собой разумеется, исчезнут. Однако среда коммуникации остается прежней, если быть точнее, меняется сама технология, правила и стандарты коммуникативного взаимодействия в культурной среде общества.

Материалы и методы. В статье представляются концепции устойчивого развития коммуникативной культуры в контексте цифровизации. К используемым научным методам относятся сравнительный, причинно-следственный анализ и абстрактно-логический подход.

Говоря о наступлении нового технологического и культурного миропорядка, можно выявить ряд актуальных проблем его развития, сопутствующих динамике прогресса. При этом, благодаря использованию цифровой коммуникации, общество перешло от физического контакта к виртуальным

взаимодействиям, которые не требуют личного присутствия. Именно поэтому масштабные изменения, которые влекут за собой новые достижения цифровых технологий, все больше актуализируют проблему самой коммуникативной культуры современного человека. Под воздействием глобальных процессов цифровизации происходит и трансформация в пространстве культуры.

Результаты и обсуждения. Анализ исследований культуры цифровой коммуникации показал неоднозначный интерес к данной тематике. Такой вывод можно сделать, если принять во внимание исследования как зарубежных (Д. Белл, С. Жижек, М. Маклюен, О. Тоффлер, У. Эко, Э. Фромм), так и отечественных ученых (Э.В. Ильенков, В.Д. Исаев, Б.В. Марков и др.), которые, освещая проблемы культуры информационного общества, акцентировали внимание на анализе коммуникативных процессов в нём.

По мнению И.М. Дзялошинского, состав современного технологического комплекса коммуникативной культуры состоит из трех обязательных компонентов: 1) владение коммуникативными стратегиями; 2) обладание необходимыми ресурсами коммуникации; 3) владение умениями и навыками коммуникационной деятельности [2, с. 56].

Наряду с этим, невозможно не отметить фактор присутствия некоего «связывающего звена», т.е. медиатора, обеспечивающего человеку выход во всемирный информационный портал. Медиатор является не чем иным как неким объединяющим механизмом, который связывает человека с обществом, личностное мировоззрение с культурой всего народа.

В этой связи благодаря медиаторам сохраняется преемственность общечеловеческой культуры, её вектор развития в будущее. Медиаторы присутствуют всюду, где человек создаёт и созидает, творит и олицетворяет, будь это культурное, научное, образовательное или иное пространство.

В информационно-коммуникационном пространстве именно медиаторы являются составляющими информационно-коммуникационного продукта.

Несомненно, цифровая коммуникация создает благоприятные условия для развития личности и имеет ряд позитивных особенностей, влияющих на динамику развития культуры общества в целом. Однако те радикальные изменения, которые влекут за собой современные трансформации, имеют и другой аспект. Следует отметить, что современную эпоху цифровой культуры можно охарактеризовать как культуру, отчужденную от традиционных ценностей. В.Д. Исаев считает, что в современном обществе человек представляет себя как «отчужденного и деперсонализованного», ему свойственны чувства бессилия и одиночества, отчужденность среди толпы людей, ощущение потери аутентичности и индивидуальности,

абсурдности и безрассудности существования и действительности в целом. Все это вызывает моральное страдание и провоцирует духовный кризис личности, и минимизация последствий отчуждения возможна лишь с помощью внедрения новых информационных технологий, поскольку и сама информация в определенных социальных контекстах является средством, которое провоцирует это отчуждение [1].

На наш взгляд, культура в данном аспекте представляет собой явление сложное и неоднозначное, требует комплексного и разностороннего ее рассмотрения. При этом необходимо подчеркнуть, что современная культура цифровой коммуникации, как бы то ни было, соответствует потребностям современного человека. И если современного человека мы характеризуем как человека виртуального, то и культуру мы характеризуем как ответ на вызовы и угрозы, потребности и запросы поколения новой формации посредством сети Интернет.

Таким образом, следует отметить, что современная культура цифровой коммуникации обладает рядом отличительных особенностей, таких как стиль языка с особыми фразеологизмами и речевыми оборотами, преобразование приватного в публичное, при этом мы наблюдаем отсутствие иерархии статусов и положений в обществе. В то же время цифровая коммуникация стала частью современного мира, оказывая тотальное влияние на формирование культуры и жизнедеятельности человека в целом, без которой современный мир все труднее удастся представить.

В этой связи современное молодое поколение, являясь носителем культуры цифровой коммуникации, формирует новые коммуникативно-цифровые компетенции. Так, неким «пропуском» вхождения в цифровое сетевое пространство является цифровая грамотность человека, так как в свою очередь, она напрямую связана с инновационными процессами в различных сферах его жизнедеятельности. Знания специфики диалога в цифровой среде, навыки использования современных средств коммуникации и нормы этики общения в цифровой среде; знания современных технологических инноваций и тенденций и навыки работы с ними – это необходимый набор компетенций современного человека в цифровой среде обитания.

Исходя из анализа, на основе социологической концепции цифрового поворота, проведенного между цифровой грамотностью населения и его активностью, С.А. Кравченко было выявлено, что цифровые коммуникации населения вытесняют аналоговые форматы, способствуя активным цифровым трансформациям в обществе. Между тем цифровая грамотность рассматривается им как интегральный показатель, включающий информационную, техническую, коммуникативную и инновационную составляющие. В этой связи становится очевидным тот проблемный фактор

цифровой коммуникации, в котором замечена показательная разница в обладании цифровой грамотностью среди современного населения посредством выявления показателя возрастной, гендерной, а также территориальной дифференциации [10].

Однако детерминация цифровой коммуникации в обществе имеет ряд очевидных, а местами и непредсказуемых последствий. Научный мир с осторожностью упоминает о том, что помимо преимуществ, которые приносят цифровые технологии, следует не упускать из виду ряд рисков и угроз, недооцененных обществом. В частности, это относится к рискам несанкционированного сбора приватной информации, тотального цифрового наблюдения, нарушения личного пространства и передачи третьим лицам персональных данных, мошенничества и т.д.

Несомненно, мы уже начали наблюдать за тем, как все «цифровое» повлекло за собой изменения в общественном миропорядке уже сейчас. Так характерной тенденцией современности стали проблемы киберуязвимости и киберпреступности, к которым можно отнести: травлю, шантаж, манипуляции, сексуальные домогательства, преследования и т.д.

В этой связи Е.М. Черешнев в своих работах размышляет о том, как оставаться Человеком в эпоху расцвета искусственного интеллекта, что, подчеркнем, вызвало огромный общественный резонанс. Автор поднимает непростые темы о типах искусственного интеллекта и месте человека в эпоху его расцвета, развеивает миф об анонимизации информации, раскрывает проблематику нецелевого использования цифровых персональных данных государством и влиятельными корпорациями, а также затрагивает актуальную проблематику кибербезопасности и информационной гигиены. Е.М. Черешнев утверждает: «В области кибербезопасности мы достигли уровня, при котором единственным способом борьбы со злоумышленниками и их техническими средствами является искусственный интеллект» [9, с. 268].

Вышеупомянутый автор вводит такое понятие как «информационный пузырь», который, по его мнению, занимает в настоящее время все информационное пространство и оказывает ключевое влияние на формирование культуры современного общества. Его особенность состоит в том, что программируемая система информации строится на массовых данных «агрегированной толпы», пропагандируя и продвигая посредством инструментов цифрового маркетинга то, что выгодно продать, а не то, что в действительности полезно и необходимо человеку на этапах формирования его духовных ценностей и личностного саморазвития. По сути, информационно-цифровое пространство строится на манипуляции выбором конкретной доли необходимой информации из всего доступного многообразия информационной базы [9, с. 334].

Особый общественный интерес вызывают негативные аспекты социальных сетей и распространенное соучастие их в кибербуллинге среди пользователей, как форме проявления психологического насилия посредством кибертехнологий в цифровом пространстве, и виктимизации как процессе, направленным на формирование в человеке статуса жертвы преступных посягательств. Как правило, похожего рода процессы происходят во время обмена текстовыми и голосовыми сообщениями, а также в виде комментариев под размещенным фото в сети.

В современном цифровом мире наличие практически безграничного количества информационных обменов в социальных сетях формирует некую систему цифровой власти. Она представляет собой сложную систему ресурсов, структурированных вокруг производства и обмена цифровой информацией, а также контроля над ней. Цифровая власть постепенно трансформируется в доминирующую силу, так называемую супервласть, которую полностью невозможно ограничить контролем и надзором за всеми существующими структурными уровнями цифрового пространства.

На наш взгляд, данную проблему не следует оставлять без внимания, так как она требует многоаспектного рассмотрения с нормативно-правовым урегулированием со стороны органов государственной власти в ближайшей перспективе.

Выводы. Таким образом, стремительно развивающаяся цифровая среда существенно изменила и продолжает вносить изменения в конфигурацию коммуникативной культуры и жизненного уклада общества в целом, как на индивидуальном, так и глобальном уровнях. Этот процесс имеет двойственные последствия для общества: с одной стороны, появляются новые преимущества и перспективы, а с другой – цифровые деструкции и метаморфозы неизбежно травмируют поведение и мышление человека, отчуждая его тем самым от социальной среды обитания.

По нашему мнению, перед современным обществом стоит острая потребность в определении целенаправленной концепции, которая наведет координаты, позволяющие преодолеть или минимизировать угрозы и деструктивные риски цифровизации в культурно-коммуникативном пространстве общества на всех уровнях взаимодействия. Данная проблема имеет веские основания для исследования научно-эмпирического характера в ближайшем будущем.

Список литературы

1. Виртуальное падение человека культуры: монография / В.Д. Исаев, Т.В. Лугуценко, Н.А. Журба. Луганск: изд-во ВЛУ им. В. Даля, 2012. – 40 с.
2. Дзялошинский И.М. Коммуникативное воздействие: мишени, стратегии, технологии: монография / И.М. Дзялошинский. М.: НИУ ВШЭ, 2012. 572 с.
3. Карасёв П.А., Стефанович Д.В. Кибербезопасность критически важной инфраструктуры:

новые вызовы // Россия в глобальной политике. Т. 20. № 6. С. 147-164.

4. Культура сетевых коммуникаций и цифровая грамотность / А.П. Глухов, М.Н. Бычкова, И.В. Гужова [и др.]; науч. ред. А.П. Глухов; М-во науки и высш. образования Рос. Фед., Нац. исслед. Том. гос. ун-т. Томск: Издательский Дом Томского государственного университета, 2019. – URL : <http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Repository/vtls:000674994> (дата обращения: 18.05.2024).

5. Соколов Д.В. Кравченко С.А. Социология цифровизации: учеб. для вузов. – М.: Юрайт, 2021. // Социологические исследования. 2021. № 12. С. 153-154. – URL : <http://ras.jes.su/socis/s013216250017447-4-1> (дата обращения: 20.05.2024).

6. Шарков Ф.И., Назарова Е.А., Жуков А.В. Цифровая грамотность населения и сетевые коммуникации: социологическое измерение // Коммуникология. – 2020. – Том 8. – №3. С. 52-62. [Электронный ресурс]. – URL : <https://cyberleninka.ru/article/n/tsifrovaya-gramotnost-naseleniya-i-setevye-kommunikatsii-sotsiologicheskoe-izmerenie/viewer>.

7. Человек в информационном обществе: сборник материалов второй международной научно-практической конференции, посвящённой десятилетию науки и технологий в Российской Федерации ; под общ. ред. А.Ю. Нестерова / М-во науки и высш. образования Рос. Фед., Самарский университет. – Самара: Изд-во Самарского университета, 2023. 152 с.

8. Черешнев Е. Форма жизни № 4: как оставаться человеком в эпоху расцвета искусственного интеллекта / Евгений Черешнев. М.: Альпина Паблишер, 2023. 484 с.

9. Confronting the Challenges of Participatory Culture: Media Education for the 21st Century / H. Jenkins, R. Purushotma, M. Weigel, K. Clinton, A. J. Robison. – Cambridge, 2009. – URL: https://clalliance.org/wp-content/uploads/files/Confronting_the_Challenges.pdf (дата обращения: 25.05.2024).

10. Kravchenko S.A. Sociology on the move: the demand for the humanistic digital turn // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: социология. Том: 19. № 3. 2019. С. 397-405. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sociology-on-the-move-the-demand-for-the-humanistic-digital-turn> (дата обращения: 18.05.2024).

11. Miller D. Modernity: An Ethnographic Approach. Oxford : Berg, 1994. – URL: <https://kingsridgcofc.org/pdf/modernity-an-ethnographic-approach/> (дата обращения: 20.05.2024).

References

1. The virtual fall of a man of culture: monograph / V.D. Isaev, T.V. Lugutsenko, N.A. Zhurba Lugansk: Publishing House of the V. Dahl National University, 2012. – 40 p.

2. Dzyaloshinsky I.M. Communicative impact: targets, strategies, technologies: monograph / I.M. Dzyaloshinsky. Moscow: National Research University Higher School of Economics, 2012. 572 p.

3. Karasev P.A., Stefanovich D.V. Cybersecurity of critical infrastructure: new challenges // Russia in global politics. Vol. 20. No. 6. Pp. 147-164.

4. The culture of network communications and digital literacy / A.P. Glukhov, M.N. Bychkova, I.V. Guzhova [et al.]; scientific. ed. A. P. Glukhov; Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, National Research Tomsk State University. Tomsk: Publishing House of Tomsk State University, 2019. – URL: <http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Repository/vtls:000674994> (accessed: 18.05.2024).

5. Sokolov D. V., Kravchenko S. A. Sociology of Digitalization: textbook for universities. – Moscow: Yurait, 2021. // Sociological Research. 2021. No. 12. P. 153-154. – URL : <http://ras.jes.su/socis/s013216250017447-4-1> (date of access: 20.05.2024).

6. Sharkov F.I., Nazarova E.A., Zhukov A.V. Digital literacy of the population and network communications: sociological dimension // Communicology. – 2020. – Vol. 8. – No. 3. Pp. 52-62. [Electronic resource]. – URL : <https://cyberleninka.ru/article/n/tsifrovaya-gramotnost-naseleniya-i-setevye-kommunikatsii-sotsiologicheskoe-izmerenie/viewer>.

7. Man in the information society: collection of materials of the second international scientific and practical conference dedicated to the decade of science and technology in the Russian Federation; under the general editorship of A.Yu. Nesterova / Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, Samara University. – Samara: Samara University Publishing House, 2023. 152 p.

8. Chereshev E. Form of Life No. 4: How to Remain Human in the Era of the Rise of Artificial Intelligence / Evgeny Chereshev. Moscow: Alpina Publisher, 2023. 484 p.

9. Confronting the Challenges of Participatory Culture: Media Education for the 21st Century / H. Jenkins, R. Purushotma, M. Weigel, K. Clinton, A. J. Robison. – Cambridge, 2009. – URL: https://clalliance.org/wp-content/uploads/files/Confronting_the_Challenges.pdf (accessed: 25.05.2024).

10. Kravchenko S.A. Sociology on the move: the demand for the humanistic digital turn // Bulletin of Peoples' Friendship University of Russia. Series: sociology. Volume: 19. No. 3. 2019. Pp. 397-405. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sociology-on-the-move-the-demand-for-the-humanistic-digital-turn> (accessed: 18.05.2024).

11. Miller D. Modernity: An Ethnographic Approach. Oxford : Berg, 1994. – URL: <https://kingsridgcofc.org/pdf/modernity-an-ethnographic-approach/> (accessed: 20.05.2024).

Статья поступила в редакцию 30.10.2024

Информация об авторе

Клипакова Инна Валериевна, ассистент кафедры государственного управления Луганского государственного университета имени Владимира Даля, г. Луганск.
Email: klipakova.inna@yandex.ru

Information about the author

Klipakova Inna Valerievna, assistant of the Department of Public Administration Lugansk State University named after Vladimir Dahl, Lugansk.
Email: klipakova.inna@yandex.ru

Для цитирования:

Клипакова И.В. Коммуникативная культура современного человека в условиях цифровизации: угрозы и риски // Вестник Луганского государственного университета имени Владимира Даля. – 2024. – № 11(89). – С. 150-154.

For citation:

Klipakova I.V. The communicative culture of a modern person in the context of digitalization: threats and risks // Vestnik of Lugansk State University named after Vladimir Dahl. – 2024. – № 11(89). – P. 150-154.

УДК 621.316.311.22.027.23(477.6) + 621.314.212.017(477.61 – 21 Алчевск+477– 477.61– 21 Стаханов)

АНАЛИЗ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИТУАЦИИ В ДОНБАССКОЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ, МИНИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ЭЛЕМЕНТАХ ЭЛЕКТРОСЕТИ 110 кВ СЕРГОВСКОГО РЕГИОНА «ЛУГАНСКЭНЕРГО»

Парсентьев О. С.

ANALYSIS OF THE ENERGY SITUATION IN THE DONBASS ELECTRIC POWER SYSTEM, MINIMIZATION OF TECHNOLOGICAL LOSSES OF ELECTRICITY IN THE ELEMENTS OF THE 110 kV POWER GRID OF THE SERGOVSK REGION OF «LUGANSKENERGO»

Parsentev O. S.

Аннотация. На примере Донбасской электроэнергетической системы (Донбасской ЭЭС) и генерирующего предприятия АО «Возрождение – Луганская ТЭС» проведен анализ технического состояния электроэнергетической отрасли в Донбасском регионе по состоянию на 01.01.2025 года. С использованием лицензионного программного продукта Excel® определен коэффициент использования и степень изношенности генерирующих установок в энергоблоках предприятия АО «Возрождение – Луганская ТЭС».

Намечены поэтапные пути повышения производительности генерационных установок на предприятии АО «Возрождение – Луганская ТЭС». Проведен анализ потребления электрической энергии таких энергоемких предприятий: ПАО «Стахановский вагоностроительный завод», Алчевский металлургический комбинат и Стахановский завод ферросплавов – филиалы №1 и №7 ООО «Южного горно-металлургического комплекса».

Используя указанный программный продукт, разработана математическая модель, при помощи которой проведен анализ суммарных годовых технологических потерь активной электроэнергии в существующих двух- и трехобмоточных силовых трансформаторах (СТ) понизительных подстанций с сочетанием напряжений 110/10(6) кВ и 110/35/10(6) кВ Серговского региона «Луганскэнерго» – филиал «Юго-Западная Электросетевая Компания» (Серговского региона «Луганскэнерго»), возникающих при трансформации электрической энергии и ступенчатом изменении нагрузки. В результате определен диапазон изменения суммарных годовых технологических потерь активной электроэнергии и сопоставлен с величиной суммарного отпуска электрической энергии, поступающей из единой национальной электрической сети (ЕНЭС), осуществляемого ПАО «Федеральная сетевая компания – Россети» общего назначения, и усредненным показателем норматива потерь электрической энергии, взятым в целом по этой электросети.

При помощи проведенного математического моделирования определены варианты реновации понизительных подстанций с сочетанием напряжений 110/10(6) кВ и 110/35/10(6) кВ Серговского региона «Луганскэнерго» с установкой двух- и трехобмоточных СТ, в которых суммарные годовые технологические потери активной электроэнергии при трансформации и ступенчатом изменении нагрузки, будут наименьшими.

Ключевые слова: электроэнергетическая система, тепловая электрическая станция, понизительная подстанция, масляный силовой трансформатор, автотрансформатор, дефицит мощности, технологические потери электроэнергии, сочетание напряжений обмоток, распределительные и магистральные электрические сети, промышленная частота сети, трансформация электрической энергии, ступенчатое изменение нагрузки, система охлаждения обмоток.

Abstract. Using the example of the Donbass Electric Power System (Donbass EES) and the generating company «Vozrozhdenie – Luganskaya TPP», an analysis of the technical condition of the electric power industry in the Donbass region as of 01.01.2025 was carried out. Using the licensed Excel® software product, the utilization rate and the degree of deterioration of generating units in the power units of JSC «Vozrozhdenie – Luganskaya TPP» were determined.

Step-by-step ways to increase the productivity of generation plants at JSC «Vozrozhdenie - Luganskaya TPP» have been outlined. The analysis of electric energy consumption of the following energy-intensive enterprises was carried out PJS «Company Stakhanovsky Wagon Building Plant», Alchevsk Metallurgical Combine and Stakhanovsky Ferroalloy Plant - branches No 1 and No 7 of the LLC of the Southern Mining and Metallurgical Complex.

Using this software product, a mathematical model has been developed that analyzes the total annual technological losses of active electricity in existing two- and three-winding power transformers (PTs) of step-down substations with a combination of 110/10(6) kV and 110/35/10(6) kV in the Sergovsk region of Luganskenergo – a branch of the Southwestern Electric Grid Company (Sergovsk region of «Luganskenergo»), arising from the transformation of electric energy and stepwise load changes.

As a result, the range of changes in the total annual technological losses of active electricity was determined and compared with the value of the total supply of electric energy supplied from the Unified National Electric Grid (UNEG), carried out by

PJSC Federal Grid Company – Rosseti of General purpose, and the average indicator of the standard of electric energy losses taken as a whole for this electric grid.

Using mathematical modeling, the renovation options for step-down substations with a combination of 110/10(6) kV and 110/35/10(6) kV voltages in the Sergovsky region of Luganskenergo were determined with the installation of two- and three-winding PTs, in which the total annual technological losses of active electricity resulting from transformation and stepwise load changes will be the lowest.

Key words: Electric power system, thermal power plant, step-down substation, oil-fired power transformer, autotransformer, power shortage, technological losses of electricity, combination of winding voltages, distribution and main electric networks, industrial frequency of the network, electric energy transformation, stepwise load change, winding cooling system.

Введение. Развитие экономики новых регионов Российской Федерации и, соответственно, уровни потребления электроэнергии в них рассматриваются в широком диапазоне от пессимистического до оптимистического сценариев развития, которые различаются по темпам развития экономики, а также глубиной внедрения мероприятий по энергосбережению и новых энергосберегающих технологий.

В структуре электропотребления Донбасской ЭЭС основной удельный вес составляет промышленность – более 70%. Сельскохозяйственная отрасль Донбасской ЭЭС имеет малый удельный вес в структуре электропотребления, и за период с 2017 по 2024 год доля ее уменьшилась с 1,9% до 0,8%.

Электропотребление коммунально-бытового сектора за рассматриваемый период увеличилось на 11%, при этом удельный вес в структуре электропотребления колеблется в диапазоне от 7,1% до 18,1%. Электропотребление Луганской Народной Республики (ЛНР) составляет порядка 30% от электропотребления Донбасской ЭЭС.

Следует отметить, что для структуры электропотребления ЛНР характерны те же тенденции, что и для структуры электропотребления Донбасской ЭЭС в целом: суммарное электропотребление ЛНР за период с 2017 по 2024 год снизилось на 1220,8 млн. кВтч (– 12,5%).

Структура электропотребления ЛНР характеризуется такими показателями:

– основной удельный вес в структуре электропотребления региона составляет промышленность – порядка 72%;

– доля сельскохозяйственной отрасли в структуре электропотребления области уменьшилась с 1,8% до 0,9%;

– потребление коммунально-бытового сектора уменьшилось на 4,0%.

Структура электропотребления данного региона является ключевым показателем развития экономики ЛНР в рассматриваемый период.

Энергетические показатели работы основных теплоэлектростанций (ТЭС), расположенных на территории Луганской Народной Республики, по состоянию на 01.01.2025 год представлены в табл.1.

Таблица 1

Энергетические характеристики генерирующих электростанций, расположенных на территории ЛНР по состоянию на 01.01.2025 года

№ п/п	Наименование	Установленная мощность, МВт	Коэффициент использования, %	Примечание
1	АО «Возрождение» – Луганская ТЭС	820,0	52,80	—
2	Северодонецкая ТЭС	260,0	10,0	Частично восстановлена после известных событий 2022 года
Всего по ЛНР		1080,0	31,40	—

Формирование режимов работы электростанций определяется подразделениями энергорынка. Приоритетное использование обеспечивается производителям, не работающим по ценовым заявкам (АЭС, ГЭС), загрузка ТЭЦ определяется в основном тепловыми нагрузками. ТЭС работает в базисной части графика потребления и регулирует его временную часть. Распределение нагрузки ТЭС определяется с учетом ранжирования ее энергоблоков по ценовым заявкам, а также по критериям устойчивости работы станций и режимов объединенной энергетической системы.

Анализ табл. 1. позволяет сделать заключение о том, что работа станций, в основном АО «Возрождение» – Луганская ТЭС (96,6–97,10 % от выработки электроэнергии электростанциями

региона), характеризуется низким коэффициентом использования. Выработка электроэнергии электростанциями ЛНР составляет порядка 10–15% от суммарной выработки электростанциями Донбасской ЭЭС.

Анализ наработки генерирующего оборудования электростанций ЛНР показывает, что его значительная часть по состоянию на 2025 год отработала свыше 398000,0 часов. Турбины с таким ресурсом работы следует отнести к физически изношенным. Наряду с высокой степенью износа оборудования ТЭС, значительно сокращены объемы проведения необходимых ремонтов. Планирование ремонтов осуществляется в подавляющем большинстве случаев «в пределах выделенного финансирования».

Наращивание объема износа оборудования и отсутствие возможности восстановления приводит энергетику к снижению надежности обеспечения потребителей, увеличению отказов не только основного оборудования, но и противоаварийной автоматики и релейной защиты.

Кроме того, при проведении ремонтов не всегда достигается требуемая эффективность.

Увеличение доли базисных АЭС в структуре генерирующей мощности электроэнергетической системы Российской Федерации, с одной стороны, приводит к сокращению участия мощности ТЭС в покрытии нагрузки системы, с другой к вытеснению их в переменный режим работы.

Имеющиеся в Донбасской ЭЭС 3 газомазутных блока мощностью по 800 МВт стоят в холодном резерве из-за высокой цены на этот вид топлива.

Использование оборудования ТЭС с увеличенным межремонтным периодом, работой в переменных режимах с минимальной нагрузкой, увеличение пусков-остановов приводит к повышенному износу оборудования, увеличению расходов топлива и себестоимости электро- и теплотенергии.

Исходя из проработок, выполненных в «Энергетической стратегии России на период до 2030 года» и в государственной программе Российской Федерации «Восстановление и социально-экономическое развитие Донецкой Народной Республики, Луганской Народной Республики, Запорожской области и Херсонской области», утвержденной постановлением Правительства Российской Федерации от 22 декабря 2023 г. № 2255 (далее – Программа), ТЭС, наряду с развитием АЭС и ГРЭС, будут оставаться основой электроэнергетики России, основным источником резервирования мощности, покрытия переменных нагрузок в энергосистеме. Вместе с тем анализ фактического состояния оборудования ТЭС показывает, что обеспечение возлагаемых на тепловую энергетику функций возможно только при существенном техническом обновлении отрасли.

По станциям, расположенным на территории ЛНР, из 1080 МВт установленной мощности участвовало в покрытии нагрузки порядка 500 МВт. Из 8 энергоблоков АО «Возрождение» – Луганская ТЭС в работе в последние годы использовалось 1–3 энергоблока.

В рамках технического перевооружения была выполнена реконструкция энергоблока №8 АО «Возрождение» – Луганская ТЭС с использованием технологии сжигания отходов углеобогащения в котле с циркуляционным кипящим слоем. В результате модернизации повышены технико-экономические и экологические характеристики энергоблока и увеличена мощность до 225 МВт.

Донбасская ЭЭС характеризуется значительным энергетическим потенциалом. Дефицит мощности Донбасской ЭЭС определяется тем, что из-за старения оборудования, ограниченности средств на закупку топлива, спада электропотребления из 11800

МВт установленной генерирующей мощности активно участвует в покрытии нагрузки порядка 3000–4000 МВт.

Режим работы системы обостряется тем, что через магистральные электрические сети (МЭС) обеспечивается переток мощности в Северный Кавказ в размере до 800 МВт.

В соответствии с проработками, выполненными в указанных нормативных документах по перспективному развитию ЭЭС Российской Федерации, на перспективный период наряду с АЭС и ГРЭС сохраняется роль ТЭС в развитии функционирования отрасли, что в условиях наличия угольных ресурсов в России обеспечит энергетическую независимость страны от импортированных ресурсов и тем самым повысит энергетическую безопасность страны. Основным направлением в развитии ТЭС является продление их сроков службы за счет проведения модернизации и реконструкции, а также установка высокоэффективных агрегатов нового поколения. Ограничивающим фактором является высокая стоимость технического перевооружения ТЭС.

В перспективный период намечается сохранение энергетического потенциала Донбасской ЭЭС, проведение технического перевооружения станций, в том числе АО «Возрождение» – Луганская ТЭС.

Учитывая рост потребления как ЭЭС Российской Федерации, так и новых регионов в перспективный период, необходимо значительное увеличение использования, существующего энергетического потенциала этой ЭС, в том числе Донбасской ЭЭС, что может быть обеспечено только за счет продления сроков службы и обеспечения надежности использования генерирующего оборудования ТЭС, а за пределами 2030 года и АЭС.

Анализ режимов работы электростанций Донбасской ЭЭС показывает, что в зимний период при общем снижении потребления на ночной период до 16%, снижение мощности электростанций энергосистемы составляет в целом 30–40% (для регулирования нагрузки ОЭС Российской Федерации на период ночного снижения потребления в Донбасской ЭЭС останавливаются до 6–7 блоков). При этом дефицит Донбасской ЭЭС увеличивается в зимний период в разрезе суток от 1300 до 2250 МВт.

В летних режимах в связи со снижением электропотребления и некоторым уплотнением графиков потребления в ОЭС Российской Федерации требования к режимам работы электростанций снижаются, в указанных режимах электростанций Донбасской ЭЭС в разрезе суток работают в пределах имеющегося регулировочного диапазона (без остановов на период ночного снижения нагрузки).

Балансы мощностей Донбасской ЭЭС в летних режимах и режимах выходных дней в разрезе суток характеризуются дефицитом порядка 700–900 МВт.

Дефицит мощности на территории ЛНР, где электрификация токоприемников физических и юридических лиц осуществляется электроустановками энергокомпаний

«Луганскэнерго» – филиал «Юго-Западная Электросетевая Компания» («Луганскэнерго»), в разрезе суток в последние годы колеблется в пределах до 900 МВт, в летних режимах дефицит региона в разрезе суток стабилен и составляет до 800 МВт (в летний рабочий день) и до 700 МВт в летний выходной день.

Как отмечалось выше, дефицит Донбасской ЭЭС определяется тем, что практически до 50–70% генерируемой мощности ЭЭС простаивает по причинам дефицита топливных ресурсов, старения электроустановок и т.д.

В перспективе с ростом электропотребления в ОЭС России и Донбасской ЭЭС появится потребность в использовании полного энергопотенциала электростанций Донбасской ЭЭС, и в том числе электростанций, расположенных на территории «Луганскэнерго», что будет возможно при обеспечении электростанций топливом, проведении необходимых масштабов реконструкции и технического перевооружения энергоблоков ТЭС с целью продления их сроков службы и улучшения технико-экономических показателей.

На территории Серговского региона «Луганскэнерго» осуществляют производственную деятельность ряд таких энергоемких предприятий:

1. ПАО «Стахановский вагоностроительный завод» (ПАО «СВЗ»).

2. Стахановский завод ферросплавов – филиал №7 ООО «Южного горно-металлургического комплекса» (СЗФ – филиал №7 ООО «ЮГМК»).

3. Алчевский металлургический комбинат – филиал №1 ООО «ЮГМК» (АМК – филиал №1 ООО «ЮГМК»), на котором производится до 4000 тонн чугуна, агломерата, кокса и листового проката. Предприятие стабильно развивается и постепенно наращивает свои мощности. На сегодняшний момент разрешенная мощность АМК – филиал №1 ООО «ЮГМК» составляет 350 МВт.

Для электроснабжения данного металлургического комбината, осуществляемого ПАО «Федеральная сетевая компания – Россети», используются такие питающие подстанции магистральных электрических сетей ЕНЭС:

1. ПС 500/220 кВ «Новодонбасская».
2. ПС 330/220/110 кВ «Михайловка».
3. ПС 220/110 кВ «Коммунарская»
4. ПС 220/110 кВ «Черкасская».

Дополнительно на комбинате введен энергоблок децентрализованного электроснабжения №1 «ГТУ» мощностью 151,50 МВт.

Для рассматриваемого уровня нагрузок АМК параметры режима характеризуются такими показателями загрузки:

1. Уровни напряжения в рассматриваемых узлах – 111÷114 кВ.

2. Автотрансформаторов (АТ) с сочетанием напряжений 220/110 кВ на:

– ПС 220/110 кВ «Коммунарская» – 202,0 МВт (40%);

– ПС 220/110 кВ «Черкасская» – 242 МВт (60%);
– ПС 330/220/110 кВ «Михайловка» – 240 МВт (30%).

Анализ результатов расчета показывает, что перетоки мощности, а также уровни напряжения в рассмотренном режиме не выходят за пределы нормируемых значений. Перетоки через АТ связи на ПС магистральных электрических сетей не превышают 50% от номинального значения.

Для электроснабжения объектов промышленной инфраструктуры (ПАО «СВЗ»), металлургической отрасли (филиалы №1 и №7 материнской компании ООО «ЮГМК»), горно-обогатительных фабрик, учебных кампусов, шахт, социальной сферы, розничной и оптовой торговли, цифровизации и т.д., расположенных на территории таких городов, как Алчевск, Брянка, Стаханов, Первомайск, Перевальск, Ирмино, в Серговском регионе «Луганскэнерго» задействовано 22 понизительных трансформаторных ПС с сочетанием напряжений 110/35/10(6) кВ и 110/10(6) кВ.

Диспетчерские наименования ПС глубокого вода с сочетанием напряжений 110/35/10(6) кВ и 110/10(6) кВ Серговского региона «Луганскэнерго», число и технические параметры сегмента масляных двух- и трехобмоточных силовых трансформаторов (СТ), эксплуатируемых на данных объектах капитального строительства, по состоянию на 01.01.2009 года приводятся в табл. 2 и 3.

Анализ табл. 2 и 3 позволяет сделать заключение о том, что на понизительных ПС 110/10(6) кВ и ПС 110/35/10(6) кВ Серговского региона «Луганскэнерго» из линейки стандартного ряда мощностей по ГОСТ 9680 – 77 присутствуют:

1) 19,10 % СТ номинальной мощностью 20 МВА;

2) 9,50 % – СТ номинальной мощностью 63 МВА, срок службы которых в настоящий время превышает 45 лет.

Учитывая вышесказанное, минимизация технологических потерь активной электроэнергии при ее трансформации через двух- и трехобмоточные СТ с подводимым напряжением 110 кВ в Серговском регионе «Луганскэнерго» является актуальной народно-хозяйственной проблемой.

Для решения данной проблемы в работе будет проводиться:

1. Расчет суммарных условно-постоянных и нагрузочных потерь активной электроэнергии за базовый год при ее трансформации в существующем сегменте двухобмоточных масляных СТ с сочетанием напряжений 110/10(6) кВ и трехобмоточных СТ с сочетанием напряжений 110/35/10(6) кВ, эксплуатируемых в настоящей момент на объектах капитального строительства электрической сети Серговского региона «Луганскэнерго» с уровнем напряжения 110 кВ.

Таблица 2

Диспетчерские наименования и пропускная способность существующего сегмента масляных СТ, эксплуатируемых на ПС глубокого ввода 110/35/10(6) кВ и 110/10(6) кВ Сергеевского региона «Луганскэнерго»

№ п/п	Диспетчерское наименование ПС	Число и номинальная мощность СТ на ПС, $n \times S_{\text{ном}}$, МВА	Суммарная номинальная мощность (пропускная способность) на ПС, $\sum S_{\text{ном}}$, МВА
1	Артемовка	1×25+ 1×10	35
2	Брянка	1×20+1×25	45
3	Украина	2×25	50
4	Ильич	1×16	16
5	Максимовка	2×63	126
6	Паркоммуна	2×20	40
7	Комиссаровская	2×20	40
8	Горская	2×20	40
9	РРЗ	1×10+1×25	35
10	Западная	2×25	50
11	Прокат	2×63	126
12	Стан – 600	2×40	80
13	Металлургическая	2×80	160
14	Лиман	2×25	50
15	Кислородная-1	2×80	160
16	Кислородная-2	2×80	160
17	Ирригационная	1×10+1×20	30
18	Крымская	2×10	20
19	Городская	2×16	32
20	Алкар	1×16	16
21	Металлы и полимеры	2×16	32
22	Чернухинская	2×16	32
Итого		42,0	1375,00

Таблица 3

Технические параметры существующего сегмента масляных СТ, эксплуатируемых на ПС глубокого ввода 110/35/10(6) кВ и 110/10(6) кВ Сергеевского региона «Луганскэнерго»

№ п/п	Номинальная мощность СТ $S_{\text{ном}}$, МВА	Количество п, ед.	Суммарная номинальная мощность на ПС, $\sum S_{\text{ном}}$, МВА	Импеданс, $U_{\text{к.з}} (В-Н)$, %	Условно-постоянные потери одного СТ Ру.п., кВт	Нагрузочные потери одного СТ Рн.п., кВт	Примечание Исполнение СТ
1	10	5	50	10,5	14	60	Двухобмоточные
2	16	6	96	10,5	19	85	
3	16*	2	32	17,0	23	100	
4	20	2	80	10,5	21	112,5	Двухобмоточные
5	20*	6	120	17,5	31	140	Трехобмоточные
6	25	9	175	10,5	30	120	Двухобмоточные
7	40	2	80	10,5	36	172	
8	63	4	252	10,5	59	245	
9	80	6	480	10,5	70	310	
Итого		42	1375	—	—	—	—

2. Сравнительная оценка этих суммарных годовых технологических потерь активной электроэнергии с установленным значением процентного норматива потерь электроэнергии при ее передаче в целом по ЕНЭС, осуществляемой ПАО «Федеральная сетевая компания – Россети», – 3,88% [4].

3. Сравнительный анализ вариантов распределения суммарных годовых технологических потерь активной электроэнергии в сегменте номинальной мощности двух- и трехобмоточных СТ отечественного и зарубежного производства, планируемых к установке на объектах капитального строительства 110 кВ Сергеевского региона

«Луганскэнерго» – понизительных ПС с сочетанием напряжений 110/10(6) кВ и 110/35/10(6) кВ.

4. Выбор по итогам сравнительного анализа оптимального варианта реновации РЭС – 110 кВ Сергеевского региона «Луганскэнерго» – сегмента номинальной мощности двух- и трехобмоточных СТ с подводимым напряжением 110 кВ для установки в понизительных ПС глубокого ввода с сочетанием напряжений 110/10(6) кВ и 110/35/10(6) кВ, обеспечивающих наименьшие технологические потери активной электроэнергии за базовый период-год при ступенчатом изменении нагрузки.

Расчеты годовых технологических потерь активной электроэнергии для существующего

массива и планируемого к установке сегмента двух- и трехобмоточных СТ с указанным сочетанием напряжений на объектах капитального строительства 110 кВ Серговского региона «Луганскэнерго» будут проводиться по методикам [5; 6] с учетом допущений, изложенных в работах [7–14].

Под годовыми технологическими потерями активной электроэнергии $\sum W_{т.п.год.ст}$ понимается арифметическое сложение условно-постоянных потерь электроэнергии, затрачиваемых в СТ на покрытие потерь холостого (нерабочего) хода и нагрузочных потерь электроэнергии, величина которых прямо пропорциональна квадрату коэффициента загрузки трансформатора K_z .

В работе расчет технологических потерь активной электроэнергии $\sum W_{т.п.год.ст}$ будет проводиться для такого ступенчатого диапазона значений коэффициента загрузки K_z : 0; 0,25; 0,5; 0,75 и 1,0.

На рис. 1 представлены зависимости распределения суммарных годовых технологических потерь активной электроэнергии от номинальной мощности сегмента масляных двух- и трехобмоточных СТ с сочетанием напряжений 110/10(6) кВ и 110/35/10(6) кВ, эксплуатируемых на объектах капитального строительства глубокого ввода 110 кВ в Серговском регионе «Луганскэнерго», рассчитанные при ступенчатом изменении нагрузки K_z $\sum W_{т.п.год.ст} = f(S_{ном})$.

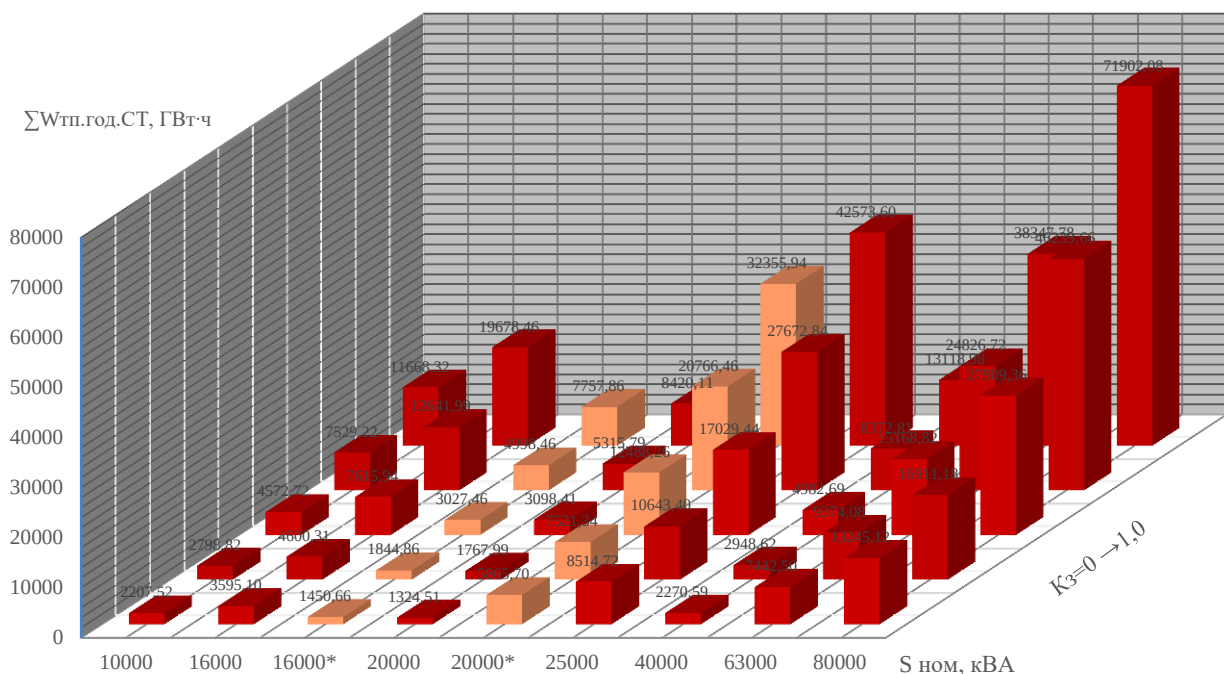


Рис. 1. Зависимости распределения суммарных годовых технологических потерь активной электроэнергии от номинальной мощности сегмента масляных двух- и трехобмоточных СТ с сочетанием напряжений 110/10(6) кВ и 110/35/10(6) кВ, эксплуатируемых на объектах капитального строительства 110 кВ в Серговском регионе «Луганскэнерго», рассчитанные при ступенчатом изменении нагрузки K_z от 0 до 1,0 $\sum W_{т.п.год.ст} = f(S_{ном})$
 (*) – оранжевым цветом выделены годовые технологические потери активной электроэнергии, возникающие с ростом нагрузки при эксплуатации трехобмоточных СТ

Анализ зависимостей, представленных на рис. 1 позволяет сделать заключение о том, что изменение нагрузки K_z в указанном диапазоне в сегменте масляных двух- и трехобмоточных СТ с подводимым уровнем напряжения 110 кВ, эксплуатируемых в настоящий момент в понизительных ПС с сочетанием напряжений 110/10(6) кВ и 110/35/10(6) кВ Серговского региона «Луганскэнерго», привело к тому, что суммарные годовые технологические потери активной

электроэнергии в последних будут изменяться от 8,13 до 43,54% от величины суммарного отпуска электрической энергии, поступающей из ЕНЭС ПАО «Федеральная сетевая компания – Россети» общего назначения, что выше в 2,10–11,22 раза усредненного показателя норматива потерь электрической энергии, взятого в целом по ЕНЭС [4].

Для минимизации технологических потерь активной электроэнергии, возникающих при ее

трансформации и изменении нагрузки K , в указанном диапазоне в распределительных электрических сетях 110 кВ (РЭС – 110 кВ) Серговского региона «Луганскэнерго», предлагается рассмотреть варианты замены сегмента морально устаревших двух- и трехобмоточных СТ в понизительных ПС глубокого ввода с сочетанием напряжений 110/10(6) кВ и 110/35/10(6) кВ (табл. 2 и 3) этого региона на сегменты номинальной мощности масляных двух- и трехобмоточных СТ с идентичным сочетанием напряжений обмоток, регулированием напряжения под нагрузкой (РПН) в нейтрали в диапазоне $\pm 16\% \pm 9$ ступеней, имеющих одну из основных систем охлаждения обмоток (М, Д или ДЦ) производства компании:

1. Варианты № 1–6: CEEG Transformer CO., Ltd (г. Нанкин, КНР) [15].

2. Вариант №7: ООО «Воронежский трансформатор» [16].

3. Варианты № 8–10: ООО «Тольяттинский Трансформатор» [17].

4. Вариант №11: АО «Группа «СВЭЛ» (г. Екатеринбург) [18].

5. Варианты №12,13: «METTZ Group» (Венжоу, КНР) [19].

Вариант № 1. Расчет суммарных годовых технологических потерь активной электроэнергии в сегменте номинальной мощности масляных двух- и трехобмоточных СТ с сочетанием напряжений 110/10(6) кВ и 110/35/10(6) кВ, komponуемом из серий S18 и S(F)RNZ, планируемых к установке в ПС глубокого ввода с сочетанием напряжений 110/10(6) кВ и 110/35/10(6) кВ РЭС – 110 кВ Серговского региона «Луганскэнерго».

Для реализации данного варианта реновации указанных объектов капитального строительства 110 кВ в РЭС – 110 кВ Серговского региона «Луганскэнерго» предлагается осуществить замену в них морально устаревшего сегмента двух- и трехобмоточных масляных СТ с сочетанием напряжений 110/10(6) кВ и 110/35/10(6) кВ (табл. 2 и 3) на сегмент номинальной мощности двух- и трехобмоточных СТ аналогичного сочетания напряжений, komponуемый из серий, отличных от стандартного ряда мощностей по ГОСТ 9680-77:

1) S18 с изоляцией обмоток типа «DuPontNomex», имеющих термостойкость класса С, сниженные на 10% потери холостого хода и на 5% потери короткого замыкания в сравнении с нормируемым уровнем потерь энергии в национальном стандарте GB6451– 2015 на СТ номиналом: 10; 16; 20; 25; 40; 63 и 90 МВА [15];

2) S(F)RNZ с изоляцией обмоток типа «Nomex®», имеющих повышенную термическую стойкость и механическую прочность к осевым и радиальным электродинамическим усилиям, порождаемым в результате действия экстратокков короткого замыкания в обмотках номиналом: 16 и 20 МВА [15].

В результате такой реновации объектов капитального строительства 110 кВ в РЭС – 110 кВ Серговского региона «Луганскэнерго» количество, энергетические параметры и суммарная номинальная мощность (пропускная способность) сегмента двух- и трехобмоточных масляных СТ указанных серий будут такими, как это представлено в табл. 4.

Таблица 4

Количество и энергетические параметры сегмента номинальной мощности двух- и трехобмоточных СТ, komponуемого из серий S18 и S(F)RNZ, планируемых к установке в ПС глубокого ввода с сочетанием напряжений 110/10(6) кВ и 110/35/10(6) кВ Серговского региона «Луганскэнерго» после реновации

Наименование серии СТ и исполнение	Номинальная мощность $S_{ном}$, МВА	Количество, ед.	Пропускная мощность сегмента номинальной мощности СТ с сочетанием напряжений 110/10(6) и 110/35/10(6) кВ на понизительных ПС Серговского региона «Луганскэнерго», $\Sigma S_{ном}$, кВА после реновации	Условно-постоянные потери одного СТ Ру.п., кВт	Нагрузочные потери одного СТ Рн.п., кВт
S18 (двухобмоточные)	10	5	50000	8400	48000
	16	6	96000	12000	69000
	20	2	32000	14100	84000
	25	9	225000	16600	99000
	40	2	80000	23500	141000
	63	4	252000	33300	198000
	90	6	540000	43500	258000
S(F) RNZ (трехобмоточные)	16	2	32000	18200	90100
	20	6	120000	21500	106300
ИТОГО		42	1435000		

Анализ табл. 2–4 показывает, что в результате такой реновации существующих объектов

капитального строительства в РЭС – 110 кВ Серговского региона «Луганскэнерго» пропускная

способность этой электросети возрастет в 1,044 раза.

На рис. 2 представлены зависимости распределения суммарных годовых технологических потерь активной электроэнергии от номинальной мощности сегмента масляных двух-

и трехобмоточных СТ серий S18 и S(F)RNZ, планируемых к установке в понизительных ПС с сочетанием напряжений 110/10(6) кВ и 110/35/10(6) кВ Сергоского региона «Луганскэнерго», рассчитанные при ступенчатом изменении нагрузки K_z от 0 до 1,0 $\sum W_{т.п.год.СТ} = f(S_{ном})$.

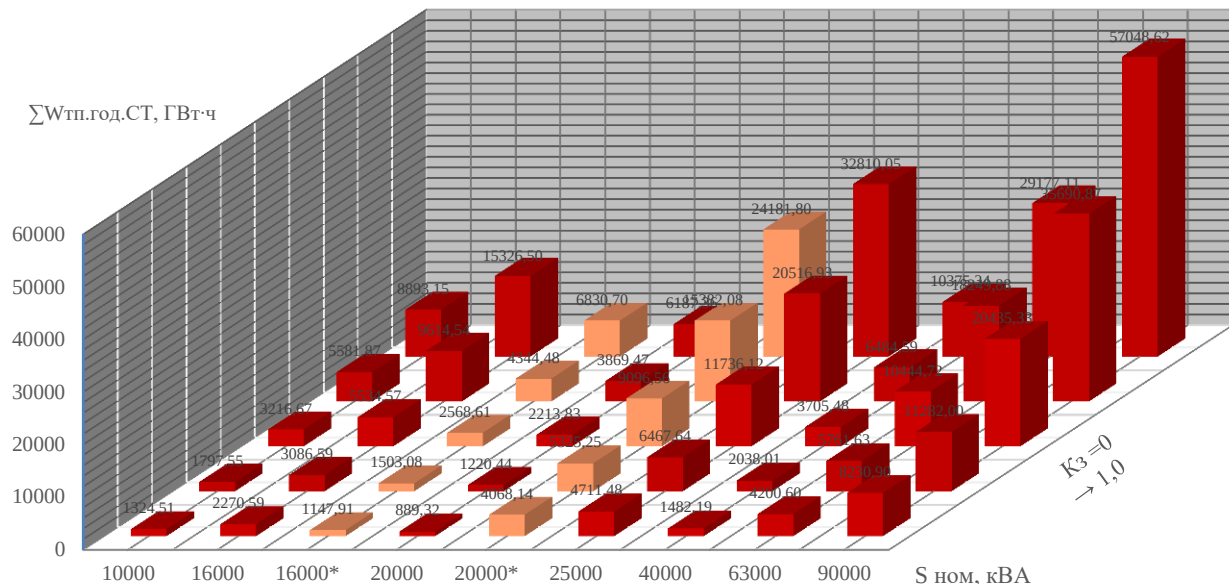


Рис. 2. Зависимости распределения суммарных годовых технологических потерь активной электроэнергии от номинальной мощности сегмента масляных двух- и трехобмоточных СТ серий S18 и S(F)RNZ, планируемых к установке в понизительных ПС с сочетанием напряжений 110/10(6) кВ и 110/35/10(6) кВ Сергоского региона «Луганскэнерго», рассчитанные при ступенчатом изменении нагрузки K_z от 0 до 1,0 $\sum W_{т.п.год.СТ} = f(S_{ном})$

(*) – здесь и в дальнейших вариантах реновации оранжевым цветом выделены годовые технологические потери активной электроэнергии, возникающие с ростом нагрузки при эксплуатации трехобмоточных СТ

Анализ зависимостей, представленных на рис. 2, позволяет сделать заключение о том, что изменение нагрузки K_z в указанном диапазоне в сегменте масляных двух- и трехобмоточных СТ серий S18 и S(F) RNZ, планируемых к установке в понизительных ПС с сочетанием напряжений 110/10(6) кВ и 110/35/10(6) кВ Сергоского региона «Луганскэнерго» после реновации, приведет к тому, что суммарные годовые технологические потери активной электроэнергии в последних будут изменяться от 5,02 до 33,80% от величины суммарного отпуска электрической энергии, поступающей из ЕНЭС ПАО «Федеральная сетевая компания – Россети» общего назначения, и будут в 1,29 – 8,71 раза выше усредненного показателя норматива потерь электрической энергии, взятого в целом по ЕНЭС [4].

Вариант № 2. Расчет суммарных годовых технологических потерь активной электроэнергии в сегменте номинальной мощности масляных двух- и трехобмоточных СТ с сочетанием напряжений 110/10(6) кВ и 110/35/10(6) кВ, komponуемом из серий S18 и S(F)RNZ, планируемых к установке в ПС глубокого ввода с сочетанием напряжений

110/10(6) кВ и 110/35/10(6) кВ РЭС – 110 кВ Сергоского региона «Луганскэнерго».

Для реализации данного варианта реновации указанных объектов капитального строительства 110 кВ в РЭС – 110 кВ Сергоского региона «Луганскэнерго» предлагается осуществить замену в них морально устаревшего сегмента двух- и трехобмоточных масляных СТ с сочетанием напряжений 110/10(6) кВ и 110/35/10(6) кВ (табл. 2 и 3) на сегмент номинальной мощности двух- и трехобмоточных СТ аналогичного сочетания напряжений, komponуемый из серий, отличных от стандартного ряда мощностей по ГОСТ 9680-77:

1) S (F)RN с изоляцией обмоток типа «Nomex®», номиналом: 10; 16; 20; 25; 40; 63 и 90 МВА [15].

2) S (F)RNZ с изоляцией обмоток типа «Nomex®», номиналом: 16 и 20 МВА [15].

В результате реновации объектов капитального строительства 110 кВ в РЭС – 110 кВ Сергоского региона «Луганскэнерго» количество, энергетические параметры и пропускная способность сегмента двух- и трехобмоточных масляных СТ указанных серий будут такими, как это представлено в табл. 5.

Таблица 5

Количество и энергетические параметры сегмента номинальной мощности двух- и трехобмоточных СТ, комплектуемого из серий S(F)RN и S(F)RNZ, планируемых к установке в ПС глубокого ввода с сочетанием напряжений 110/10(6) кВ и 110/35/10(6) кВ Серговского региона «Луганскэнерго» после реновации

Наименование серии СТ и исполнение	Номинальная мощность $S_{ном}$, МВА	Количество, ед.	Пропускная мощность сегмента номинальной мощности СТ с сочетанием напряжений 110/10(6) и 110/35/10(6) кВ на понизительных ПС Серговского региона «Луганскэнерго», $\Sigma S_{ном}$, кВА после реновации	Условно-постоянные потери одного СТ Ру.п., кВт	Нагрузочные потери одного СТ Рн.п., кВт
S(F)RN (двухобмоточные)	10	5	50000	9900	50200
	16	6	96000	14100	73100
	20	2	32000	16500	88400
	25	9	225000	19500	104600
	40	2	80000	27600	147900
	63	4	252000	39000	221000
S(F) RNZ (трехобмоточные)	90	6	540000	51000	289000
	16	2	32000	18200	90100
	20	6	120000	21500	106300
—	ИТОГО	42	1435000	—	—

Анализ табл. 2, 3 и 5 показывает, что в результате такой реновации существующих объектов капитального строительства в РЭС – 110 кВ Серговского региона «Луганскэнерго» пропускная способность этой электросети возрастет в 1,044 раза.

На рис. 3 представлены зависимости распределения суммарных годовых

технологических потерь активной электроэнергии от номинальной мощности сегмента масляных двух- и трехобмоточных СТ серий S(F)RN и S(F)RNZ, планируемых к установке в понизительных ПС с сочетанием напряжений 110/10(6) кВ и 110/35/10(6) кВ Серговского региона «Луганскэнерго», рассчитанные при ступенчатом изменении нагрузки K_z от 0 до 1,0 $\Sigma W_{т.п.год.СТ} = f(S_{ном})$.

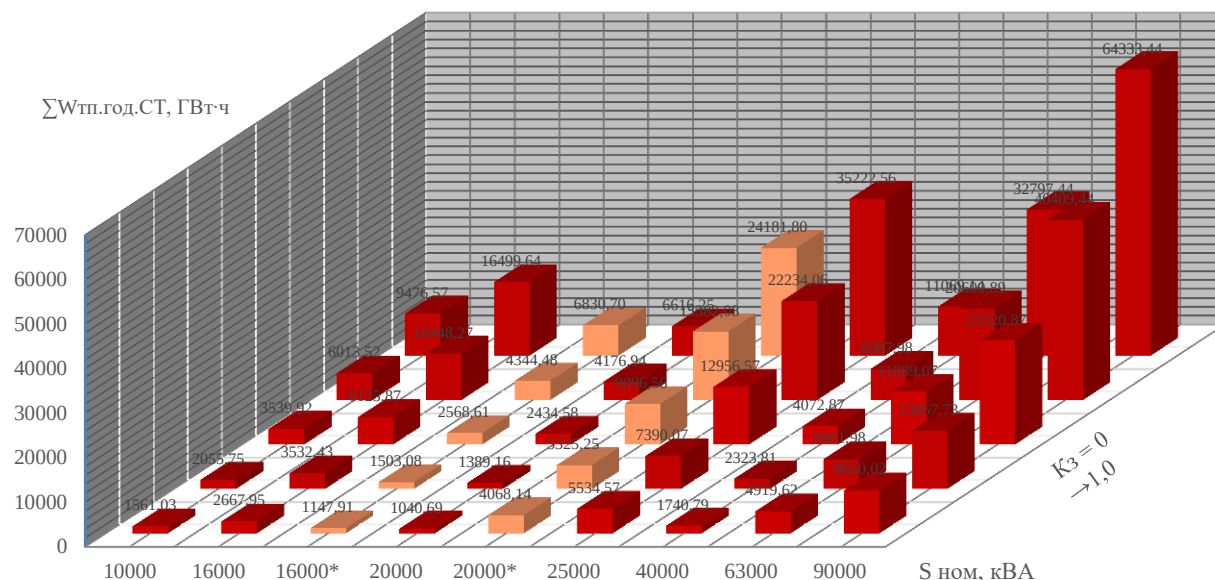


Рис. 3. Зависимости распределения суммарных годовых технологических потерь активной электроэнергии от номинальной мощности сегмента масляных двух- и трехобмоточных СТ серий S(F)RN и S(F)RNZ, планируемых к установке в понизительных ПС с сочетанием напряжений 110/10(6) кВ и 110/35/10(6) кВ Серговского региона «Луганскэнерго», рассчитанные при ступенчатом изменении нагрузки K_z от 0 до 1,0 $\Sigma W_{т.п.год.СТ} = f(S_{ном})$

Анализ зависимостей, представленных на рис. 3, позволяет сделать заключение о том, что изменение нагрузки K_z в указанном диапазоне в

сегменте масляных двух- и трехобмоточных СТ серий S(F)RN и S(F) RNZ, планируемых к установке в понизительных ПС с сочетанием напряжений

110/10(6) кВ и 110/35/10(6) кВ Серговского региона «Луганскэнерго» после реновации, приведет к тому, что суммарные годовые технологические потери активной электроэнергии в последних будут изменяться от 5,73 до 36,70% от величины суммарного отпуска электрической энергии, поступающей из ЕНЭС ПАО «Федеральная сетевая компания – Россети» общего назначения, и будут в 1,48 – 9,45 раза выше усредненного показателя норматива потерь электрической энергии, взятого в целом по ЕНЭС [4].

Вариант № 3. Расчет суммарных годовых технологических потерь активной электроэнергии в сегменте номинальной мощности масляных двух- и трехобмоточных СТ с сочетанием напряжений 110/10(6) кВ и 110/35/10(6) кВ, komponуемом из серий S18, S(F)Z11 и SS(F)Z11, планируемых к установке в ПС глубокого ввода с сочетанием напряжений 110/10(6) кВ и 110/35/10(6) кВ РЭС – 110 кВ Серговского региона «Луганскэнерго».

Для реализации данного варианта реновации указанных объектов капитального строительства 110 кВ в РЭС – 110 кВ Серговского региона «Луганскэнерго» предлагается осуществить замену в них морально устаревшего сегмента двух- и трехобмоточных масляных СТ с сочетанием напряжений 110/10(6) кВ и 110/35/10(6) кВ (табл. 2 и 3) на сегмент номинальной мощности двух- и

трехобмоточных СТ аналогичного сочетания напряжений, komponуемый из серий, отличных от стандартного ряда мощностей по ГОСТ 9680-77:

1) S(F) Z11 с гибридной изоляцией обмоток, имеющих сниженные на 20% потери холостого хода и на 5% потери короткого замыкания в сравнении с нормируемым уровнем потерь энергии в национальном стандарте GB 6451– 2015 на СТ номиналом: 10 и 16 МВА [15];

2) S18 с изоляцией обмоток типа «DuPontNomex», имеющих термостойкость класса С, сниженные на 10% потери холостого хода и на 5% потери короткого замыкания в сравнении с нормируемым уровнем потерь энергии в национальном стандарте GB6451– 2015 на СТ номиналом: 20; 25; 40; 63 и 90 МВА [15];

3) SS(F)Z11 с гибридной изоляцией обмоток, имеющих сниженные на 20% потери холостого хода и на 5% потери короткого замыкания в сравнении с нормируемым уровнем потерь энергии в национальном стандарте GB 6451– 2015 номиналом: 16 и 20 МВА [15].

В результате реновации объектов капитального строительства 110 кВ в РЭС – 110 кВ Серговского региона «Луганскэнерго» количество энергетические параметры и пропускная способность сегмента двух- и трехобмоточных масляных СТ указанных серий будут такими, как это представлено в табл. 6.

Таблица 6

Количество и энергетические параметры сегмента номинальной мощности двух- и трехобмоточных СТ, komponуемого из серий S18, S(F)Z11 и SS(F)Z11, планируемых к установке в ПС глубокого ввода с сочетанием напряжений 110/10(6) кВ и 110/35/10(6) кВ Серговского региона «Луганскэнерго» после реновации

Наименование серии СТ и исполнение	Номинальная мощность $S_{ном}$, МВА	Количество, ед.	Пропускная мощность сегмента номинальной мощности СТ с сочетанием напряжений 110/10(6) и 110/35/10(6) кВ на понизительных ПС Серговского региона «Луганскэнерго», $\Sigma S_{ном}$, кВА после реновации	Условно-постоянные потери одного СТ Ру.п., кВт	Нагрузочные потери одного СТ Рн.п., кВт
S(F)Z11 (двухобмоточные)	10	5	50000	11300	50000
	16	6	96000	16100	73000
S18 (двухобмоточные)	20	2	40000	14100	84000
	25	9	225000	16600	99000
	40	2	80000	23500	141000
	63	4	252000	33300	198000
	90	6	540000	43500	25800
SS(F) Z11 (трехобмоточные)	16	2	32000	19300	90000
	20	6	120000	22800	106000
ИТОГО		42	1435000		

Анализ табл. 2, 3 и 6 показывает, что в результате такой реновации существующих объектов капитального строительства в РЭС – 110 кВ Серговского региона «Луганскэнерго» пропускная способность электросети возрастет в 1,044 раза.

На рис. 4 представлены зависимости распределения суммарных годовых технологических потерь активной электроэнергии от номинальной

мощности сегмента масляных двух- и трехобмоточных СТ серий S18, S(F)Z11 и SS(F)Z11, планируемых к установке в понизительных ПС с сочетанием напряжений 110/10(6) кВ и 110/35/10(6) кВ Серговского региона «Луганскэнерго», рассчитанные при ступенчатом изменении нагрузки K_z от 0 до 1,0 $\Sigma W_{т.п.год.ст} = f(S_{ном})$.

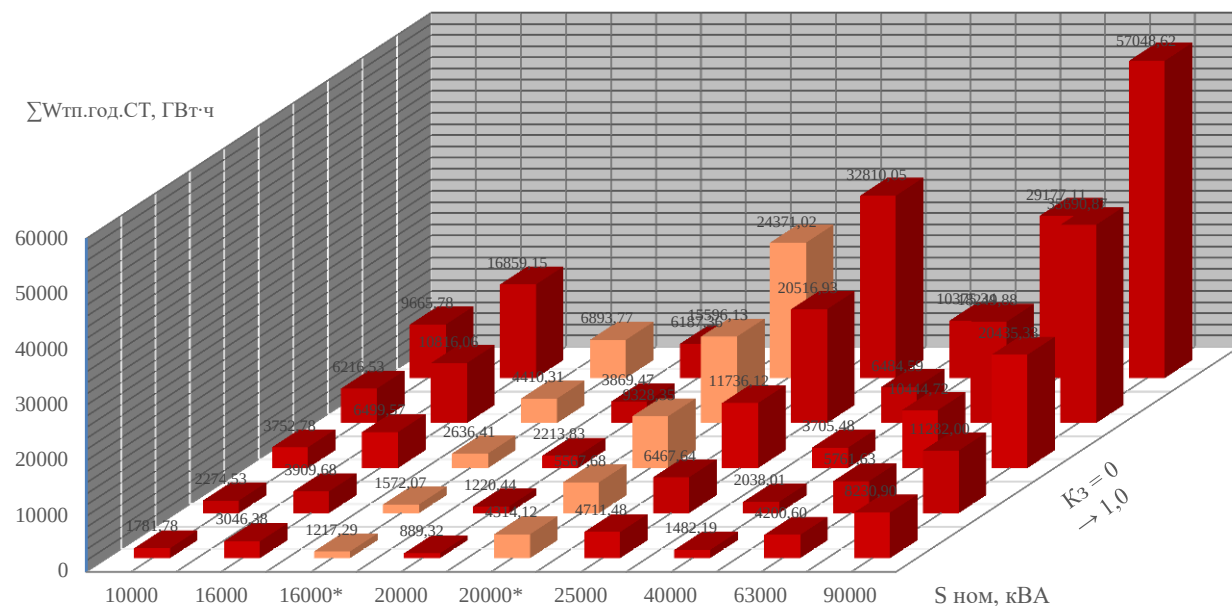


Рис. 4. Зависимости распределения суммарных годовых технологических потерь активной электроэнергии от номинальной мощности сегмента масляных двух- и трехобмоточных СТ серий S18, S(F)Z11 и SS(F)Z11, планируемых к установке в понизительных ПС с сочетанием напряжений 110/10(6) кВ и 110/35/10(6) кВ Серговского региона «Луганскэнерго», рассчитанные при ступенчатом изменении нагрузки K_3 от 0 до 1,0 $\Sigma W_{тп.год.СТ} = f(S_{ном})$

Анализ зависимостей, представленных на рис. 4, позволяет сделать заключение о том, что изменение нагрузки K_3 в указанном диапазоне в сегменте масляных двух- и трехобмоточных СТ серий S18, S(F)Z11 и SS(F)Z11, планируемых к установке в понизительных ПС с сочетанием напряжений 110/10(6) кВ и 110/35/10(6) кВ Серговского региона «Луганскэнерго» после реновации приведет к тому, что суммарные годовые технологические потери активной электроэнергии в последних будут изменяться от 5,29 до 34,26% от величины суммарного отпуска электрической энергии, поступающей из ЕНЭС ПАО «Федеральная сетевая компания – Россети» общего назначения, и будут в 1,36 – 8,83 раза выше усредненного показателя норматива потерь электрической энергии, взятого в целом по ЕНЭС [4].

Вариант № 4. Расчет суммарных годовых технологических потерь активной электроэнергии в сегменте номинальной мощности масляных двух- и трехобмоточных СТ с сочетанием напряжений 110/10(6) кВ и 110/35/10(6) кВ, komponуемом из серий S18, S(F)Z13 и SS(F)Z13, планируемых к установке в ПС глубокого ввода с сочетанием напряжений 110/10(6) кВ и 110/35/10(6) кВ РЭС – 110 кВ Серговского региона «Луганскэнерго».

Для реализации данного варианта реновации указанных объектов капитального строительства 110 кВ в РЭС – 110 кВ Серговского региона «Луганскэнерго» предлагается осуществить замену в них морально устаревшего сегмента двух- и

трехобмоточных масляных СТ с сочетанием напряжений 110/10(6) кВ и 110/35/10(6) кВ (табл. 2 и 3) на сегмент номинальной мощности двух- и трехобмоточных СТ аналогичного сочетания напряжений, komponуемый из серий, отличных от стандартного ряда мощностей по ГОСТ 9680-77:

1) S(F) Z13 с гибридной изоляцией обмоток, имеющих сниженные на 20% потери холостого хода и на 5% потери короткого замыкания в сравнении с нормируемым уровнем потерь энергии в национальном стандарте GB 6451– 2015 на СТ номиналом: 10 и 16 МВА [15];

2) S18 с изоляцией обмоток типа «DuPontNomex», имеющих термостойкость класса C, сниженные на 10% потери холостого хода и на 5% потери короткого замыкания в сравнении с нормируемым уровнем потерь энергии в национальном стандарте GB6451– 2015 на СТ номиналом: 20; 25; 40; 63 и 90 МВА [15];

3) SS(F)Z13 с гибридной изоляцией обмоток, имеющих сниженные на 20% потери холостого хода и на 5% потери короткого замыкания в сравнении с нормируемым уровнем потерь энергии в национальном стандарте GB 6451– 2015 на СТ номиналом: 16 и 20 МВА [15].

В результате реновации объектов капитального строительства 110 кВ в РЭС – 110 кВ Серговского региона «Луганскэнерго» количество, энергетические параметры и пропускная способность сегмента двух- и трехобмоточных масляных СТ указанных серий будут такими, как это представлено в табл. 7.

Таблица 7

Количество и энергетические параметры сегмента номинальной мощности двух- и трехобмоточных СТ, комплектуемого из серий S18, S(F)Z13 и SS(F)Z13, планируемых к установке в ПС глубокого ввода с сочетанием напряжений 110/10(6) кВ и 110/35/10(6) кВ Серговского региона «Луганскэнерго» после реновации

Наименование серии СТ и исполнение	Номинальная мощность $S_{ном}$, МВА	Количество, ед.	Пропускная мощность сегмента номинальной мощности СТ с сочетанием напряжений 110/10(6) и 110/35/10(6) кВ на понизительных ПС Серговского региона «Луганскэнерго», $\Sigma S_{ном}$, кВА после реновации	Условно-постоянные потери одного СТ $P_{у.п.}$, кВт	Нагрузочные потери одного СТ $P_{н.п.}$, кВт
S(F)Z13 (двухобмоточные)	10	5	50000	9040	50000
	16	6	96000	12880	73000
S18 (двухобмоточные)	20	2	40000	14100	84000
	25	9	225000	16600	99000
	40	2	80000	23500	141000
	63	4	252000	33300	198000
	90	6	540000	43500	25800
SS(F) Z13 (трехобмоточные)	16	2	32000	15440	90000
	20	6	120000	18240	106000
—	ИТОГО	42	1435000	—	—

Анализ табл. 2, 3 и 7 показывает, что в результате такой реновации существующих объектов капитального строительства в РЭС – 110 кВ Серговского региона «Луганскэнерго» пропускная способность электросети возрастет в 1,044 раза.

На рис. 5 представлены зависимости распределения суммарных годовых технологических потерь активной электроэнергии от номинальной

мощности сегмента масляных двух- и трехобмоточных СТ серий S18, S(F)Z13 и SS(F)Z13, планируемых к установке в понизительных ПС с сочетанием напряжений 110/10(6) кВ и 110/35/10(6) кВ Серговского региона «Луганскэнерго», рассчитанные при ступенчатом изменении нагрузки K_3 от 0 до 1,0 $\Sigma W_{т.п.год.СТ} = f(S_{ном})$.

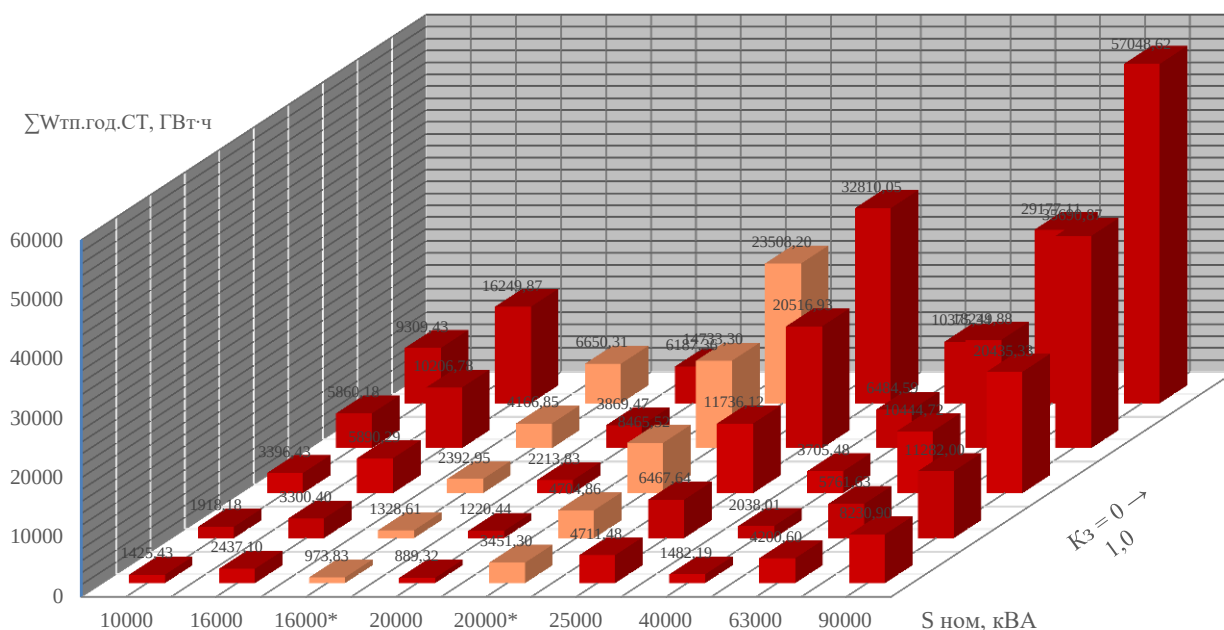


Рис. 5. Зависимости распределения суммарных годовых технологических потерь активной электроэнергии от номинальной мощности сегмента масляных двух- и трехобмоточных СТ серий S18, S(F)Z13 и SS(F)Z13, планируемых к установке в понизительных ПС с сочетанием напряжений 110/10(6) кВ и 110/35/10(6) кВ Серговского региона «Луганскэнерго», рассчитанные при ступенчатом изменении нагрузки K_3 от 0 до 1,0 $\Sigma W_{т.п.год.СТ} = f(S_{ном})$

Анализ зависимостей, представленных на рис. 5, позволяет сделать заключение о том, что изменение нагрузки K_z в указанном диапазоне в сегменте масляных двух- и трехобмоточных СТ серий S18, S(F)Z13 и SS(F)Z13, планируемых к установке в понизительных ПС с сочетанием напряжений 110/10(6) кВ и 110/35/10(6) кВ Серговского региона «Луганскэнерго» после реновации приведет к тому, что суммарные годовые технологические потери активной электроэнергии в последних будут изменяться от 4,92 до 33,89% от величины суммарного отпуска электрической энергии, поступающей из ЕНЭС ПАО «Федеральная сетевая компания – Россети» общего назначения, и будут в 1,27 – 8,73 раза выше усредненного показателя норматива потерь электрической энергии, взятого в целом по ЕНЭС [4].

Вариант № 5. Расчет суммарных годовых технологических потерь активной электроэнергии в сегменте номинальной мощности масляных двух- и трехобмоточных СТ с сочетанием напряжений 110/10(6) кВ и 110/35/10(6) кВ, komponуемом из серий S(F)RN и SS(F)Z11, планируемых к установке в ПС глубокого ввода с сочетанием напряжений 110/10(6) кВ и 110/35/10(6) кВ РЭС – 110 кВ Серговского региона «Луганскэнерго».

Для реализации данного варианта реновации указанных объектов капитального строительства 110 кВ в РЭС – 110 кВ Серговского региона «Луганскэнерго» предлагается осуществить замену в них морально устаревшего сегмента двух- и трехобмоточных масляных СТ с сочетанием напряжений 110/10(6) кВ и 110/35/10(6) кВ (табл. 2 и 3) на сегмент номинальной мощности двух- и трехобмоточных СТ аналогичного сочетания напряжений, komponуемый из серий, отличных от стандартного ряда мощностей по ГОСТ 9680-77:

1) S(F) RN с изоляцией обмоток типа «Nomex®», номиналом: 10; 16; 20; 25; 40; 63 и 90 МВА [15];

2) SS(F)Z11 с гибридной изоляцией обмоток, имеющих сниженные на 20% потери холостого хода и на 5% потери короткого замыкания в сравнении с нормируемым уровнем потерь энергии в национальном стандарте GB 6451– 2015 на СТ номиналом: 16 и 20 МВА [15].

В результате реновации объектов капитального строительства 110 кВ в РЭС – 110 кВ Серговского региона «Луганскэнерго» количество, энергетические параметры и пропускная способность сегмента двух- и трехобмоточных масляных СТ указанных серий будут такими, как это представлено в табл. 8.

Таблица 8

Количество и энергетические параметры сегмента номинальной мощности двух- и трехобмоточных СТ, komponуемого из серий S(F)RN и SS(F)Z11, планируемых к установке в ПС глубокого ввода с сочетанием напряжений 110/10(6) кВ и 110/35/10(6) кВ Серговского региона «Луганскэнерго» после реновации

Наименование серии СТ и исполнение	Номинальная мощность $S_{ном}$, МВА	Количество, ед.	Пропускная мощность сегмента номинальной мощности СТ с сочетанием напряжений 110/10(6) и 110/35/10(6) кВ на понизительных ПС Серговского региона «Луганскэнерго», $\Sigma S_{ном}$, кВА после реновации	Условно-постоянные потери одного СТ $P_{у.п.}$, кВт	Нагрузочные потери одного СТ $P_{н.п.}$, кВт
S(F)RN (двухобмоточные)	10	5	50000	9900	50200
	16	6	96000	14100	73100
	20	2	40000	16500	88400
	25	9	225000	19500	104600
	40	2	80000	27600	147900
	63	4	252000	39000	221000
	90	6	540000	51000	289000
SS(F) Z11 (трехобмоточные)	16	2	32000	19300	90000
	20	6	120000	22800	106000
ИТОГО		42	1435000		

Анализ табл. 2, 3 и 8 показывает, что в результате такой реновации существующих объектов капитального строительства в РЭС – 110 кВ Серговского региона «Луганскэнерго» пропускная способность электросети возрастет в 1,044 раза.

На рис. 6 представлены зависимости распределения суммарных годовых

технологических потерь активной электроэнергии от номинальной мощности сегмента масляных двух- и трехобмоточных СТ серий S(F)RN и SS(F)Z11, планируемых к установке в понизительных ПС с сочетанием напряжений 110/10(6) кВ и 110/35/10(6) кВ Серговского региона «Луганскэнерго», рассчитанные при ступенчатом изменении нагрузки K_z от 0 до 1,0 $\Sigma W_{т.п.год.ст} = f(S_{ном})$.

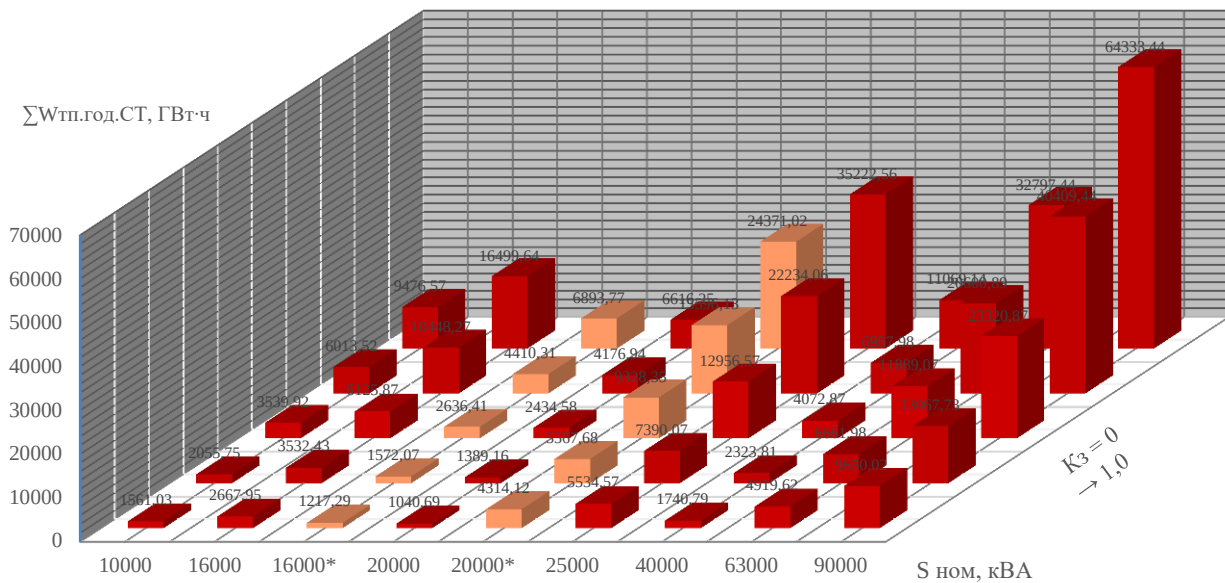


Рис. 6. Зависимости распределения суммарных годовых технологических потерь активной электроэнергии от номинальной мощности сегмента масляных двух- и трехобмоточных СТ серий S(F)RN и SS(F)Z11, планируемых к установке в понизительных ПС с сочетанием напряжений 110/10(6) кВ и 110/35/10(6) кВ Сергоского региона «Луганскэнерго», рассчитанные при ступенчатом изменении нагрузки K_z от 0 до 1,0 $\Sigma W_{тп.год.СТ} = f(S_{ном})$

Анализ зависимостей, представленных на рис. 6, позволяет сделать заключение о том, что изменение нагрузки K_z в указанном диапазоне в сегменте масляных двух- и трехобмоточных СТ серий S(F)RN и SS(F)Z11, планируемых к установке в понизительных ПС с сочетанием напряжений 110/10(6) кВ и 110/35/10(6) кВ Сергоского региона «Луганскэнерго» после реновации приведет к тому, что суммарные годовые технологические потери активной электроэнергии в последних будут изменяться от 5,78 до 36,72% от величины суммарного отпуска электрической энергии, поступающей из ЕНЭС ПАО «Федеральная сетевая компания – Россети» общего назначения, и будут в 1,49 – 9,46 раза выше усредненного показателя норматива потерь электрической энергии, взятого в целом по ЕНЭС [4].

Вариант № 6. Расчет суммарных годовых технологических потерь активной электроэнергии в сегменте номинальной мощности масляных двух- и трехобмоточных СТ с сочетанием напряжений 110/10(6) кВ и 110/35/10(6) кВ, komponуемом из серий S(F)RN и SS(F)Z13, планируемых к установке в ПС глубокого ввода с сочетанием напряжений 110/10(6) кВ и 110/35/10(6) кВ РЭС – 110 кВ Сергоского региона «Луганскэнерго».

Для реализации данного варианта реновации указанных объектов капитального строительства 110 кВ в РЭС – 110 кВ Сергоского региона «Луганскэнерго» предлагается осуществить замену в них морально устаревшего сегмента двух- и трехобмоточных масляных СТ с сочетанием напряжений 110/10(6) кВ и 110/35/10(6) кВ (табл. 2 и

3) на сегмент номинальной мощности двух- и трехобмоточных СТ аналогичного сочетания напряжений, komponуемый из серий, отличных от стандартного ряда мощностей по ГОСТ 9680-77:

1) S(F) RN с изоляцией обмоток типа «Nomex®», номиналом: 10; 16; 20; 25; 40; 63 и 90 МВА [15];

2) SS(F)Z13 с гибридной изоляцией обмоток, имеющих сниженные на 20% потери холостого хода и на 5% потери короткого замыкания в сравнении с нормируемым уровнем потерь энергии в национальном стандарте GB 6451– 2015 на СТ номиналом: 16 и 20 МВА [15].

В результате реновации объектов капитального строительства 110 кВ в РЭС – 110 кВ Сергоского региона «Луганскэнерго» количество, энергетические параметры и пропускная способность сегмента двух- и трехобмоточных масляных СТ указанных серий будут такими, как это представлено в табл. 9.

Анализ табл. 2, 3 и 9 показывает, что в результате такой реновации существующих объектов капитального строительства в РЭС – 110 кВ Сергоского региона «Луганскэнерго» пропускная способность электросети возрастет в 1,044 раза.

На рис. 7 представлены зависимости распределения суммарных годовых технологических потерь активной электроэнергии от номинальной мощности сегмента масляных двух- и трехобмоточных СТ серий S(F)RN и SS(F)Z13, планируемых к установке в понизительных ПС с сочетанием напряжений 110/10(6) кВ и 110/35/10(6) кВ Сергоского региона «Луганскэнерго», рассчитанные при ступенчатом изменении нагрузки K_z от 0 до 1,0 $\Sigma W_{тп.год.СТ} = f(S_{ном})$.

Таблица 9

Количество и энергетические параметры сегмента номинальной мощности двух- и трехобмоточных СТ, комплектуемых из серий S(F)RN и SS(F)Z13, планируемых к установке в ПС глубокого ввода с сочетанием напряжений 110/10(6) кВ и 110/35/10(6) кВ Сергеевского региона «Луганскэнерго» после реновации

Наименование серии СТ и исполнение	Номинальная мощность $S_{ном}$, МВА	Количество, ед.	Пропускная мощность сегмента номинальной мощности СТ с сочетанием напряжений 110/10(6) и 110/35/10(6) кВ на понизительных ПС Сергеевского региона «Луганскэнерго», $\Sigma S_{ном}$, кВА после реновации	Условно-постоянные потери одного СТ Ру.п., кВт	Нагрузочные потери одного СТ Рн.п., кВт
S(F)RN (двухобмоточные)	10	5	50000	9900	50200
	16	6	96000	14100	73100
	20	2	40000	16500	88400
	25	9	225000	19500	104600
	40	2	80000	27600	147900
	63	4	252000	39000	221000
SS(F) Z13 (трехобмоточные)	16	2	32000	15440	90000
	20	6	120000	18240	106000
ИТОГО		42	1435000		

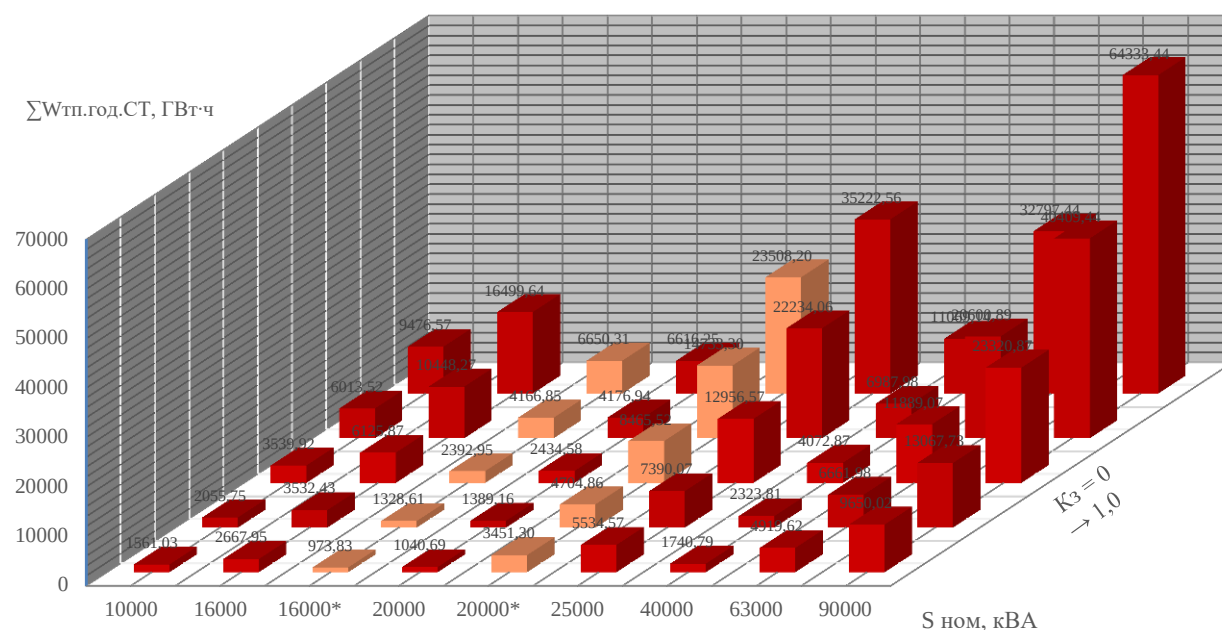


Рис. 7. Зависимости распределения суммарных годовых технологических потерь активной электроэнергии от номинальной мощности сегмента масляных двух- и трехобмоточных СТ серий S(F)RN и SS(F)Z13, планируемых к установке в понизительных ПС с сочетанием напряжений 110/10(6) кВ и 110/35/10(6) кВ Сергеевского региона «Луганскэнерго», рассчитанные при ступенчатом изменении нагрузки K_z от 0 до 1,0 $\Sigma W_{тп.год.СТ} = f(S_{ном})$

Анализ зависимостей, представленных на рис. 7, позволяет сделать заключение о том, что изменение нагрузки K_z в указанном диапазоне в сегменте масляных двух- и трехобмоточных СТ серий S(F)RN и SS(F)Z13, планируемых к установке в понизительных ПС с сочетанием напряжений 110/10(6) кВ и 110/35/10(6) кВ Сергеевского региона «Луганскэнерго» после реновации, приведет к тому, что суммарные годовые технологические потери

активной электроэнергии в последних будут изменяться от 5,59 до 36,52% от величины суммарного отпуска электрической энергии, поступающей из ЕНЭС ПАО «Федеральная сетевая компания – Россети» общего назначения, и будут в 1,44 – 9,41 раза выше усредненного показателя норматива потерь электрической энергии, взятого в целом по ЕНЭС [4].

Вариант № 7. Расчет суммарных годовых технологических потерь активной электроэнергии в сегменте номинальной мощности масляных двух- и трехобмоточных СТ с сочетанием напряжений 110/10(6) кВ и 110/35/10(6) кВ, компоуемом из серий ТДН и ТДТН, планируемых к установке в ПС глубокого ввода с сочетанием напряжений 110/10(6) кВ и 110/35/10(6) кВ РЭС – 110 кВ Серговского региона «Луганскэнерго».

Для реализации данного варианта реновации указанных объектов капитального строительства 110 кВ в РЭС – 110 кВ Серговского региона «Луганскэнерго» предлагается осуществить замену в них морально устаревшего сегмента двух- и трехобмоточных масляных СТ с сочетанием напряжений 110/10(6) кВ и 110/35/10(6) кВ (табл. 2 и 3) на сегмент номинальной мощности двух- и

трехобмоточных СТ аналогичного сочетания напряжений, компоуемый из серий, удовлетворяющих стандартному ряду мощностей по ГОСТ 9680-77:

1) ТДН номиналом: 10; 16; 25; 40; 63 и 80 МВА [16];

2) ТДТН номиналом: 16 и 25 МВА [16], удовлетворяющих требованиям государственных и международных стандартов (DIN, IEC, ANSEE/IEEE).

В результате реновации объектов капитального строительства 110 кВ в РЭС – 110 кВ Серговского региона «Луганскэнерго» количество, энергетические параметры и пропускная способность сегмента двух- и трехобмоточных масляных СТ указанных серий будут такими, как это представлено в табл. 10.

Таблица 10

Количество и энергетические параметры сегмента номинальной мощности двух- и трехобмоточных СТ, компоуемого из серий ТДН и ТДТН, планируемых к установке в ПС глубокого ввода с сочетанием напряжений 110/10(6) кВ и 110/35/10(6) кВ Серговского региона «Луганскэнерго» после реновации

Наименование серии СТ и исполнение	Номинальная мощность S _{ном} , МВА	Количество, ед.	Пропускная мощность сегмента номинальной мощности СТ с сочетанием напряжений 110/10(6) и 110/35/10(6) кВ на понижительных ПС Серговского региона «Луганскэнерго», ΣS _{ном} , кВА после реновации	Условные постоянные потери одного СТ P _{у.п.} , кВт	Нагрузочные потери одного СТ P _{н.п.} , кВт
ТДН (двухобмоточные)	10	5	50000	9000	60000
	16	6	96000	16000	79500
	25	11	275000	19000	120000
	40	2	80000	22000	170000
	63	4	252000	33000	245000
ТДТН (трехобмоточные)	80	6	480000	45000	320000
	16	2	32000	15800	90000
	25	6	150000	21000	140000
ИТОГО		42	1415000		

Анализ табл. 2, 3 и 10 показывает, что в результате такой реновации существующих объектов капитального строительства в РЭС – 110 кВ Серговского региона «Луганскэнерго» пропускная способность электросети возрастет в 1,030 раза.

На рис. 8 представлены зависимости распределения суммарных годовых технологических потерь активной электроэнергии от номинальной мощности сегмента масляных двух- и трехобмоточных СТ серий ТДН и ТДТН, планируемых к установке в понижительных ПС с сочетанием напряжений 110/10(6) кВ и 110/35/10(6) кВ Серговского региона «Луганскэнерго», рассчитанные при ступенчатом изменении нагрузки K_3 от 0 до 1,0 $\Sigma W_{т.п.год.СТ} = f(S_{ном})$.

Анализ зависимостей, представленных на рис. 8, позволяет сделать заключение о том, что изменение нагрузки K_3 в указанном диапазоне в сегменте масляных двух- и трехобмоточных СТ серий ТДН и ТДТН, планируемых к установке в понижительных ПС с сочетанием напряжений 110/10(6) кВ и 110/35/10(6) кВ Серговского региона «Луганскэнерго» после реновации, приведет к тому, что суммарные годовые технологические потери активной электроэнергии в последних будут изменяться от 5,33 до 40,84% от величины суммарного отпуска электрической энергии, поступающей из ЕНЭС ПАО «Федеральная сетевая компания – Россети» общего назначения, и будут в 1,37 – 10,53 раза выше усредненного показателя норматива потерь электрической энергии, взятого в целом по ЕНЭС [4].

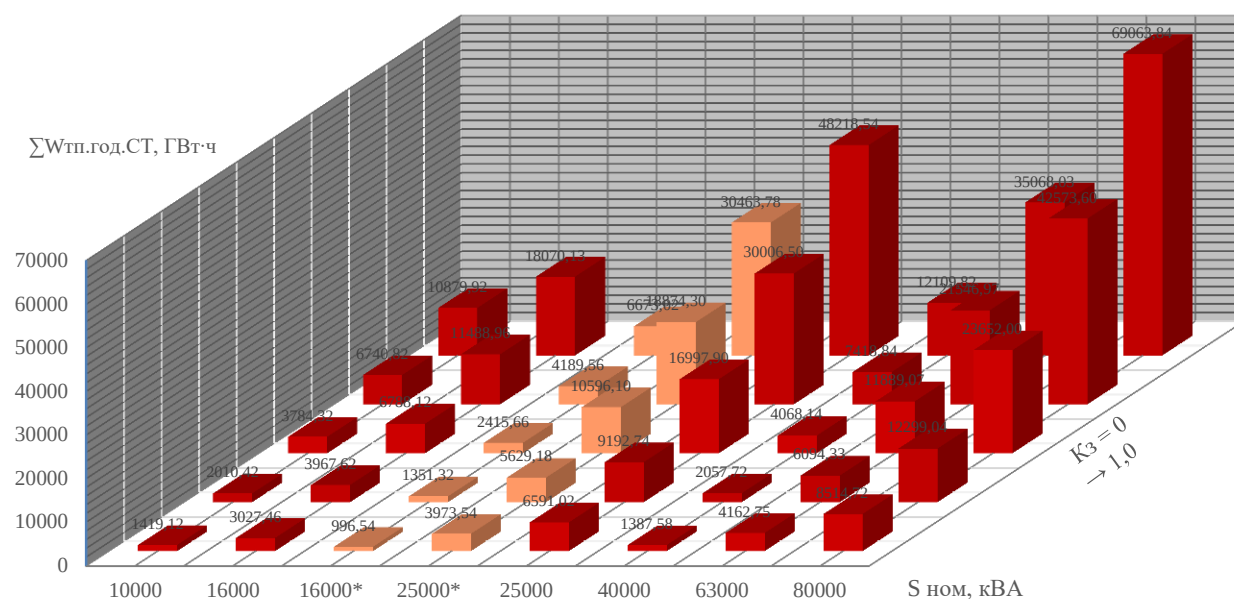


Рис. 8. Зависимости распределения суммарных годовых технологических потерь активной электроэнергии от номинальной мощности сегмента масляных двух- и трехобмоточных СТ серий ТДН и ТДТН, планируемых к установке в понизительных ПС с сочетанием напряжений 110/10(6) кВ и 110/35/10(6) кВ Сергоского региона «Луганскэнерго», рассчитанные при ступенчатом изменении нагрузки K_z от 0 до 1,0 $\Sigma W_{т.п.год.СТ} = f(S_{ном})$

Варианты № 8 и 9. Расчет суммарных годовых технологических потерь активной электроэнергии в сегментах номинальной мощности масляных двух- и трехобмоточных СТ с сочетанием напряжений 110/10(6) кВ и 110/35/10(6) кВ, komponуемых из серий ТДН, ТМН, ТРДН и ТДТН, планируемых к установке в ПС глубокого ввода с сочетанием напряжений 110/10(6) кВ и 110/35/10(6) кВ РЭС – 110 кВ Сергоского региона «Луганскэнерго».

Для реализации данных вариантов реновации указанных объектов капитального строительства 110 кВ в РЭС – 110 кВ Сергоского региона «Луганскэнерго» предлагается осуществить замену в них морально устаревшего сегмента двух- и трехобмоточных масляных СТ с сочетанием напряжений 110/10(6) кВ и 110/35/10(6) кВ (табл. 2 и 3) на сегменты номинальной мощности двух- и трехобмоточных СТ аналогичного сочетания напряжений, магнитные системы которых выполнены из электротехнической стали марки 3408 и 3409, имеющие потери холостого хода на 20–30 % меньше, чем предусмотрено в ГОСТ 12965 – 85, komponуемый из серий, удовлетворяющих стандартному ряду мощностей по ГОСТ 9680-77:

1) ТДН, ТМН и ТРДН номиналом: 10; 16; 25; 40; 63 и 80 МВА [17];

2) ТДТН номиналом: 16 и 25 МВА [17], удовлетворяющих требованиям стандарта организации СТО 15352615 – 023 – 2011.

В результате реновации объектов капитального строительства 110 кВ в РЭС – 110 кВ Сергоского региона «Луганскэнерго» количество, энергетические параметры и пропускная способность сегментов двух- и трехобмоточных масляных СТ указанных серий будут такими, как это представлено в табл. 11.

Анализ табл. 2, 3 и 11 показывает, что в результате такой реновации существующих объектов капитального строительства в РЭС – 110 кВ Сергоского региона «Луганскэнерго» пропускная способность электросети возрастет в 1,030 раза.

На рис. 9 представлены зависимости распределения суммарных годовых технологических потерь активной электроэнергии от номинальной мощности сегментов масляных двух- и трехобмоточных СТ серий ТДН, ТМН, ТРДН и ТДТН, планируемых к установке в понизительных ПС с сочетанием напряжений 110/10(6) кВ и 110/35/10(6) кВ Сергоского региона «Луганскэнерго», рассчитанные при ступенчатом изменении нагрузки K_z от 0 до 1,0 $\Sigma W_{т.п.год.СТ} = f(S_{ном})$.

Таблица 11

Количество и энергетические параметры сегментов номинальной мощности двух- и трехобмоточных СТ, komponуемых из серий ТДН, ТМН, ТРДН и ТДТН, планируемых к установке в ПС глубокого ввода с сочетанием напряжений 110/10(6) кВ и 110/35/10(6) кВ Сергоского региона «Луганскэнерго» после реновации

Наименование серии СТ и исполнение	Номинальная мощность $S_{ном}$, МВА	Количество, ед.	Пропускная мощность сегмента номинальной мощности СТ с сочетанием напряжений 110/10(6) и 110/35/10(6) кВ на понизительных ПС Сергоского региона «Луганскэнерго», $\sum S_{ном}$, кВА после реновации	Условно-постоянные потери одного СТ Ру.п., кВт	Нагрузочные потери одного СТ Рн.п., кВт
ТДН, ТМН, ТРДН (двухобмоточные)	10	5	50000	10000	56000
	16	6	96000	12000	83000
	25	11	275000	19000	12000
	40	2	80000	22000	17000
	63	4	252000	35000	24500
ТДТН (трехобмоточные)	80	6	480000	40000	31000
	16	2	32000	15800	90000
ТДТН (трехобмоточные)	25	6	150000	21000	130000
ИТОГО		42	1415000		

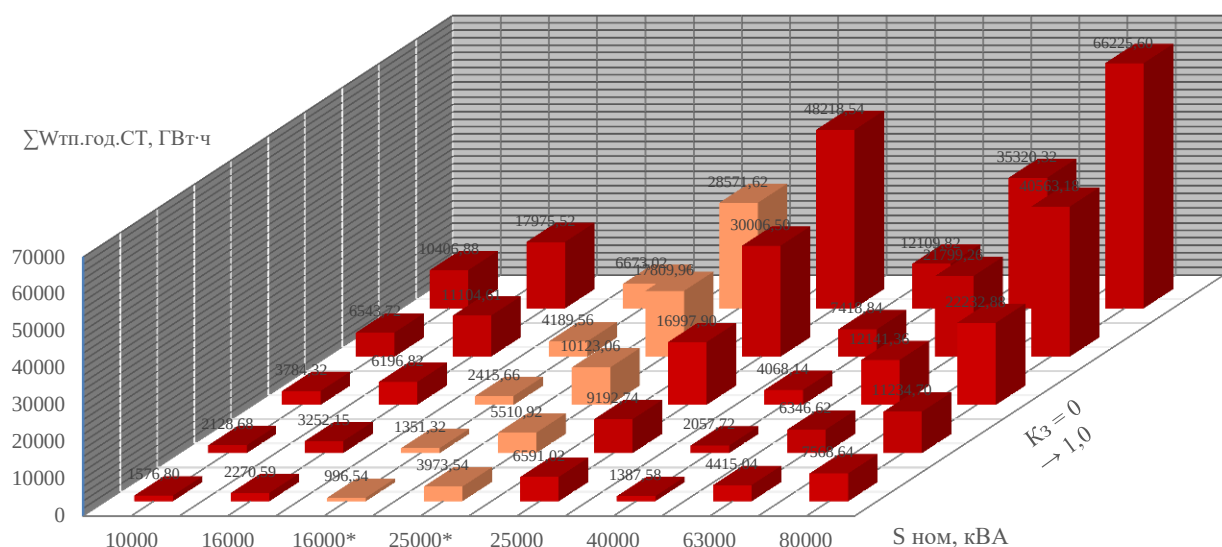


Рис. 9. Зависимости распределения суммарных годовых технологических потерь активной электроэнергии от номинальной мощности сегментов масляных двух- и трехобмоточных СТ серий ТДН, ТМН, ТРДН и ТДТН, планируемых к установке в понизительных ПС с сочетанием напряжений 110/10(6) кВ и 110/35/10(6) кВ Сергоского региона «Луганскэнерго», рассчитанные при ступенчатом изменении нагрузки K_z от 0 до 1,0 $\sum W_{тп.год.СТ} = f(S_{ном})$

Анализ зависимостей, представленных на рис. 9, позволяет сделать заключение о том, что изменение нагрузки K_z в указанном диапазоне в сегментах масляных двух- и трехобмоточных СТ серий ТДН, ТМН, ТРДН и ТДТН, планируемых к установке в понизительных ПС с сочетанием напряжений 110/10(6) кВ и 110/35/10(6) кВ Сергоского региона «Луганскэнерго» после реновации, приведет к тому, что суммарные годовые технологические потери активной электроэнергии в последних будут изменяться от 5,10 до 39,94% от величины суммарного отпуска электрической энергии, поступающей из ЕНЭС ПАО «Федеральная сетевая компания – Россети» общего назначения, и будут в

1,31– 10,30 раза выше усредненного показателя норматива потерь электрической энергии, взятого в целом по ЕНЭС [4].

Вариант № 10. Расчет суммарных годовых технологических потерь активной электроэнергии в сегменте номинальной мощности масляных двух- и трехобмоточных СТ с сочетанием напряжений 110/10(6) кВ и 110/35/10(6) кВ, komponуемом из серий ТДНФ, ТРДНФ ТРДНМФ и ТДТН, планируемых к установке в ПС глубокого ввода с сочетанием напряжений 110/10(6) кВ и 110/35/10(6) кВ РЭС – 110 кВ Сергоского региона «Луганскэнерго».

Для реализации данного варианта реновации указанных объектов капитального строительства 110 кВ в РЭС – 110 кВ Серговского региона «Луганскэнерго» предлагается осуществить замену в них морально устаревшего сегмента двух- и трехобмоточных масляных СТ с сочетанием напряжений 110/10(6) кВ и 110/35/10(6) кВ (табл. 2 и 3) на сегмент номинальной мощности двух- и трехобмоточных СТ аналогичного сочетания напряжений, обладающих повышенной перегрузочной способностью, имеющих дополнительно вводимую форсированную систему охлаждения обмоток «Ф», комплектуемый из серий, удовлетворяющих стандартному ряду мощностей по ГОСТ 9680-77:

1) ТДНФ, ТРДНФ и ТРДНМФ номиналом: 16; 25; 40; 63 и 80 МВА, изготовленных по техническим условиям ТУ16 ИБМД.672500.001-2002 [17];

2) ТДТН номиналом: 16 и 25 МВА, удовлетворяющих требованиям стандарта организации СТО 15352615 – 023 – 2011 [17].

В результате реновации объектов капитального строительства 110 кВ в РЭС – 110 кВ Серговского региона «Луганскэнерго» количество, энергетические параметры и пропускная способность сегмента двух- и трехобмоточных масляных СТ указанных серий будут такими, как это представлено в табл. 12.

Таблица 12

Количество и энергетические параметры сегмента номинальной мощности двух- и трехобмоточных СТ, комплектуемого из серий ТДНФ, ТРДНФ, ТРДНМФ и ТДТН, планируемых к установке в ПС глубокого ввода с сочетанием напряжений 110/10(6) кВ и 110/35/10(6) кВ Серговского региона «Луганскэнерго» после реновации

Наименование серии СТ и исполнение	Номинальная мощность $S_{ном}$, МВА	Количество, ед.	Пропускная мощность сегмента номинальной мощности СТ с сочетанием напряжений 110/10(6) и 110/35/10(6) кВ на понизительных ПС Серговского региона «Луганскэнерго», $\Sigma S_{ном}$, кВА после реновации	Условно-постоянные потери одного СТ Ру.п., кВт	Нагрузочные потери одного СТ Рн.п., кВт
ТДНФ, ТРДНФ, ТРДНМФ (двухобмоточные)	16	11	176000	16500	85000
	25	11	32000	23000	120000
	40	2	150000	31500	170000
	63	4	275000	50000	245000
	100	6	80000	50000	245000
ТДТН (трехобмоточные)	16	2	32000	15800	90000
	25	6	150000	21000	130000
—	ИТОГО	42	1565000	—	—

Анализ табл. 2, 3 и 12 показывает, что в результате такой реновации существующих объектов капитального строительства в РЭС – 110 кВ Серговского региона «Луганскэнерго» пропускная способность электросети возрастет в 1,14 раза.

На рис. 10 представлены зависимости распределения суммарных годовых технологических потерь активной электроэнергии от номинальной мощности сегмента масляных двух- и трехобмоточных СТ серий ТДНФ, ТРДНФ, ТРДНМФ и ТДТН, планируемых к установке в понизительных ПС с сочетанием напряжений 110/10(6) кВ и 110/35/10(6) кВ Серговского региона «Луганскэнерго», рассчитанные при ступенчатом изменении нагрузки K_z от 0 до 1,0 $\Sigma W_{т.п.год.ст} = f(S_{ном})$.

Анализ зависимостей, представленных на рис. 10, позволяет сделать заключение о том, что изменение нагрузки K_z в указанном диапазоне в сегменте масляных двух- и трехобмоточных СТ серий ТДНФ, ТРДНФ, ТРДНМФ и ТДТН, планируемых к установке в понизительных ПС с сочетанием напряжений 110/10(6) кВ и 110/35/10(6) кВ Серговского региона «Луганскэнерго» после реновации приведет к тому, что суммарные годовые технологические потери активной электроэнергии в последних будут изменяться от 6,45 до 40,00% от величины суммарного отпуска электрической энергии, поступающей из ЕНЭС ПАО «Федеральная сетевая компания – Россети» общего назначения, и будут в 1,66–10,31 раза выше усредненного показателя норматива потерь электрической энергии, взятого в целом по ЕНЭС [4].

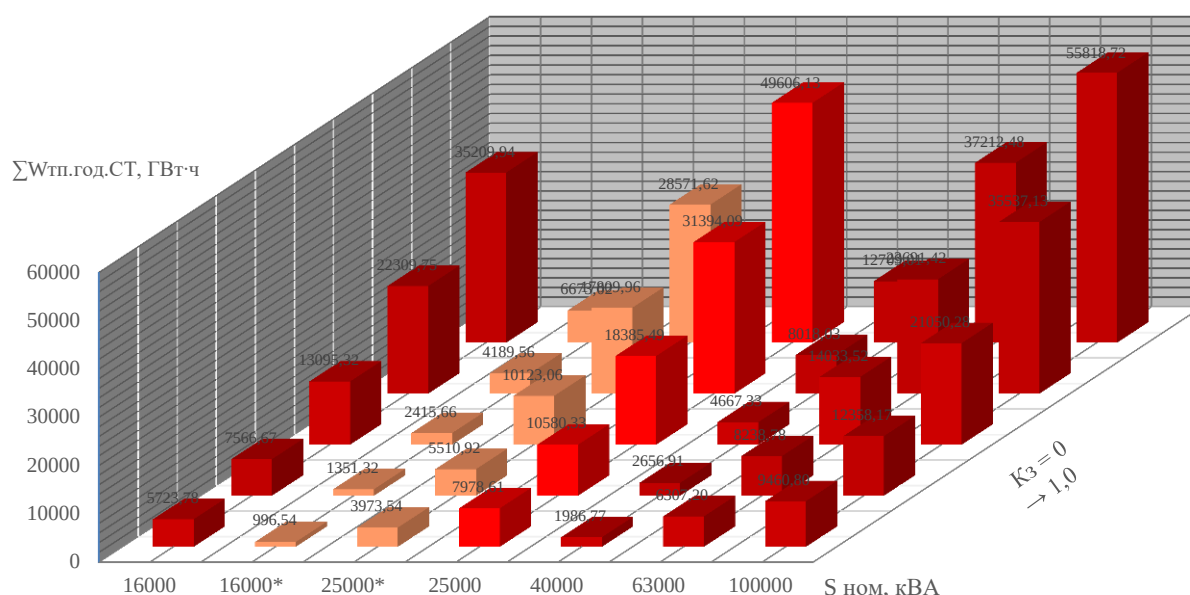


Рис. 10. Зависимости распределения суммарных годовых технологических потерь активной электроэнергии от номинальной мощности сегмента масляных двух- и трехобмоточных СТ серий ТДНФ, ТРДНФ, ТРДНМФ и ТДТН, планируемых к установке в понизительных ПС с сочетанием напряжений 110/10(6) кВ и 110/35/10(6) кВ Сергоского региона «Луганскэнерго», рассчитанные при ступенчатом изменении нагрузки K_z от 0 до 1,0 $\Sigma W_{тп.год.СТ} = f(S_{ном})$

Вариант № 11. Расчет суммарных годовых технологических потерь активной электроэнергии в сегменте номинальной мощности масляных двух- и трехобмоточных СТ с сочетанием напряжений 110/10(6) кВ и 110/35/10(6) кВ, компоуемом из серий ТД(Н) и ТДТН, планируемых к установке в ПС глубокого ввода с сочетанием напряжений 110/10(6) кВ и 110/35/10(6) кВ РЭС – 110 кВ Сергоского региона «Луганскэнерго».

Для реализации данного варианта реновации указанных объектов капитального строительства 110 кВ в РЭС – 110 кВ Сергоского региона «Луганскэнерго» предлагается осуществить замену в них морально устаревшего сегмента двух- и трехобмоточных масляных СТ с сочетанием напряжений 110/10(6) кВ и 110/35/10(6) кВ (табл. 2

и 3) на сегмент номинальной мощности двух- и трехобмоточных СТ аналогичного сочетания напряжений, компоуемый из серий, удовлетворяющих стандартному ряду мощностей по ГОСТ 9680-77:

1)ТД(Н) номиналом: 25; 40; 63 и 80 МВА [18];

2)ТДТН номиналом: 25 МВА [18],

удовлетворяющих требованиям государственных (ГОСТ 12965-85) и международных стандартов (IEC, EU).

В результате реновации объектов капитального строительства 110 кВ в РЭС – 110 кВ Сергоского региона «Луганскэнерго» количество, энергетические параметры и пропускная способность сегмента двух- и трехобмоточных масляных СТ указанных серий будут такими, как это представлено в табл. 13.

Таблица 13

Количество и энергетические параметры сегмента номинальной мощности двух- и трехобмоточных СТ, компоуемого из серий ТД(Н) и ТДТН, планируемых к установке в ПС глубокого ввода с сочетанием напряжений 110/10(6) кВ и 110/35/10(6) кВ Сергоского региона «Луганскэнерго» после реновации

Наименование серии СТ и исполнение	Номинальная мощность $S_{ном}$, МВА	Количество, ед.	Пропускная мощность сегмента номинальной мощности СТ с сочетанием напряжений 110/10(6) и 110/35/10(6) кВ на понизительных ПС Сергоского региона «Луганскэнерго», $\Sigma S_{ном}$, кВА после реновации	Условно-постоянные потери одного СТ Ру.п., кВт	Нагрузочные потери одного СТ Рн.п., кВт
ТД(Н) (двухобмоточные)	25	22	550000	25000	120000
	40	2	80000	34000	170000
	63	4	252000	50000	245000
	80	6	480000	58000	31000
ТДТН (трехобмоточные)	25	8	150000	28500	140000
—	ИТОГО	42	1512000	—	—

Анализ табл. 2, 3 и 13 показывает, что в результате такой реновации существующих объектов капитального строительства в РЭС – 110 кВ Серговского региона «Луганскэнерго» пропускная способность электросети возрастет в 1,10 раза.

На рис. 11 представлены зависимости распределения суммарных годовых

технологических потерь активной электроэнергии от номинальной мощности сегмента масляных двух- и трехобмоточных СТ серий ТД(Н) и ТДТН, планируемых к установке в понизительных ПС с сочетанием напряжений 110/10(6) кВ и 110/35/10(6) кВ Серговского региона «Луганскэнерго», рассчитанные при ступенчатом изменении нагрузки K_3 от 0 до 1,0 $\sum W_{т.п.год.СТ} = f(S_{ном})$.

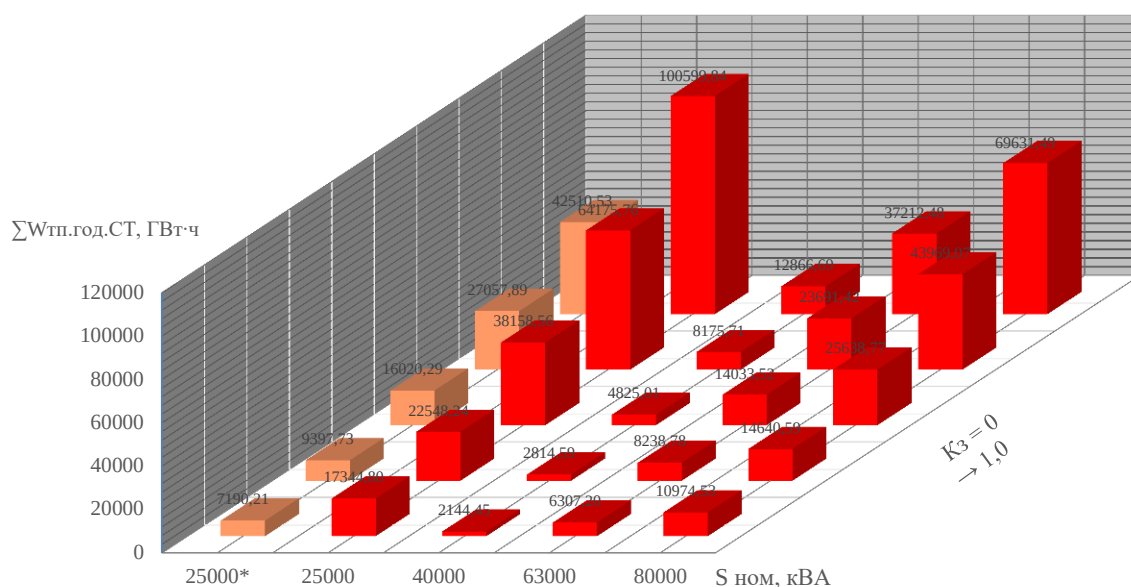


Рис. 11. Зависимости распределения суммарных годовых технологических потерь активной электроэнергии от номинальной мощности сегмента масляных двух- и трехобмоточных СТ серий ТД(Н) и ТДТН, планируемых к установке в понизительных ПС с сочетанием напряжений 110/10(6) кВ и 110/35/10(6) кВ Серговского региона «Луганскэнерго», рассчитанные при ступенчатом изменении нагрузки K_3 от 0 до 1,0 $\sum W_{т.п.год.СТ} = f(S_{ном})$

Анализ зависимостей, представленных на рис. 11, позволяет сделать заключение о том, что изменение нагрузки K_3 в указанном диапазоне в сегменте масляных двух- и трехобмоточных СТ серий ТД(Н) и ТДТН, планируемых к установке в понизительных ПС с сочетанием напряжений 110/10(6) кВ и 110/35/10(6) кВ Серговского региона «Луганскэнерго» после реновации, приведет к тому, что суммарные годовые технологические потери активной электроэнергии в последних будут изменяться от 7,79 до 46,60% от величины суммарного отпуска электрической энергии, поступающей из ЕНЭС ПАО «Федеральная сетевая компания – Россети» общего назначения, и будут в 2,01 – 12,00 раза выше усредненного показателя норматива потерь электрической энергии, взятого в целом по ЕНЭС [4].

Вариант № 12. Расчет суммарных годовых технологических потерь активной электроэнергии в сегменте номинальной мощности масляных двух- и трехобмоточных СТ с сочетанием напряжений 110/10(6) кВ и 110/35/10(6) кВ, komponуемом из серий S(F)11 и S(F)S11, планируемых к установке в ПС глубокого ввода с сочетанием напряжений

110/10(6) кВ и 110/35/10(6) кВ РЭС – 110 кВ Серговского региона «Луганскэнерго».

Для реализации данного варианта реновации указанных объектов капитального строительства 110 кВ в РЭС – 110 кВ Серговского региона «Луганскэнерго» предлагается осуществить замену в них морально устаревшего сегмента двух- и трехобмоточных масляных СТ с сочетанием напряжений 110/10(6) кВ и 110/35/10(6) кВ (табл. 2 и 3) на сегмент номинальной мощности двух- и трехобмоточных СТ аналогичного сочетания напряжений, komponуемый из серий, отличных от стандартного ряда мощностей по ГОСТ 9680-77:

1) S(F)11 номиналом: 10; 16; 25; 40; 63 и 80 МВА [19];

2) S(F)S11 номиналом: 16 и 25 МВА [19], удовлетворяющих требованиям государственных и международных стандартов.

В результате реновации объектов капитального строительства 110 кВ в РЭС – 110 кВ Серговского региона «Луганскэнерго» количество, энергетические параметры и пропускная способность сегмента двух- и трехобмоточных масляных СТ указанных серий будут такими, как это представлено в табл. 14.

что суммарные годовые технологические потери активной электроэнергии в последних будут изменяться от 6,18 до 37,10 % от величины суммарного отпуска электрической энергии, поступающей из ЕНЭС ПАО «Федеральная сетевая компания – Россети» общего назначения, и будут в 1,59 – 9,60 раза выше усредненного показателя норматива потерь электрической энергии, взятого в целом по ЕНЭС [4].

Вариант № 13. Расчет суммарных годовых технологических потерь активной электроэнергии в сегменте номинальной мощности масляных двух- и трехобмоточных СТ с сочетанием напряжений 110/10(6) кВ и 110/35/10(6) кВ, komponуемом из серий S(F)11 и S(F)S11, планируемых к установке в ПС глубокого ввода с сочетанием напряжений 110/10(6) кВ и 110/35/10(6) кВ РЭС – 110 кВ Сергoвского региона «Луганскэнерго».

Для реализации данного варианта реновации указанных объектов капитального строительства

110 кВ в РЭС – 110 кВ Сергoвского региона «Луганскэнерго» предлагается осуществить замену в них морально устаревшего сегмента двух- и трехобмоточных масляных СТ с сочетанием напряжений 110/10(6) кВ и 110/35/10(6) кВ (табл. 2 и 3) на сегмент номинальной мощности двух- и трехобмоточных СТ аналогичного сочетания напряжений, komponуемый из серий, отличных от стандартного ряда мощностей по ГОСТ 9680-77:

1) S(F)11 номиналом: 12,5; 20; 31,5; 50; 75 и 90 МВА [19];

2) S(F)S11 номиналом: 20 и 31,5 МВА [19], удовлетворяющих требованиям государственных и международных стандартов.

В результате реновации объектов капитального строительства 110 кВ в РЭС – 110 кВ Сергoвского региона «Луганскэнерго» количество, энергетические параметры и пропускная способность сегмента двух- и трехобмоточных масляных СТ указанных серий будут такими, как это представлено в табл. 15.

Таблица 15

Количество и энергетические параметры сегмента номинальной мощности двух- и трехобмоточных СТ, komponуемого из серий S(F)11 и S(F)S11, планируемых к установке в ПС глубокого ввода с сочетанием напряжений 110/10(6) кВ и 110/35/10(6) кВ Сергoвского региона «Луганскэнерго» после реновации

Наименование серии СТ и исполнение	Номинальная мощность $S_{ном}$, МВА	Количество, ед.	Пропускная мощность сегмента номинальной мощности СТ с сочетанием напряжений 110/10(6) и 110/35/10(6) кВ на понизительных ПС Сергoвского региона «Луганскэнерго», $\sum S_{ном}$, кВА после реновации	Условно-постоянные потери одного СТ Ру.п., кВт	Нагрузочные потери одного СТ Рн.п., кВт
S(F)11 (двухобмоточные)	12,5	5	62500	12400	59000
	20	6	120000	17600	88000
	31,5	11	40000	24600	123000
	50	2	189000	35200	175000
	75	4	346500	47200	236000
S(F)S11 (трехобмоточные)	90	6	100000	54400	272000
	20	2	40000	17900	90000
	31,5	6	189000	29400	149000
—	ИТОГО	42	1698000	—	—

Анализ табл. 2, 3 и 14 показывает, что в результате такой реновации существующих объектов капитального строительства в РЭС – 110 кВ Сергoвского региона «Луганскэнерго» пропускная способность электросети возрастет в 1,23 раза.

На рис. 13 представлены зависимости распределения суммарных годовых технологических потерь активной электроэнергии от номинальной мощности сегмента масляных двух- и трехобмоточных СТ серий S(F)11 и S(F)S11, планируемых к установке в понизительных ПС с сочетанием напряжений 110/10(6) кВ и 110/35/10(6) кВ Сергoвского региона «Луганскэнерго», рассчитанные при ступенчатом изменении нагрузки K_z от 0 до 1,0 $\sum W_{т.п.год.СТ} = f(S_{ном})$.

Анализ зависимостей, представленных на рис. 13, позволяет сделать заключение о том, что изменение нагрузки K_z в указанном диапазоне в сегменте масляных двух- и трехобмоточных СТ серий S(F)11 и S(F)S11, планируемых к установке в понизительных ПС с сочетанием напряжений 110/10(6) кВ и 110/35/10(6) кВ Сергoвского региона «Луганскэнерго» после реновации, приведет к тому, что суммарные годовые технологические потери активной электроэнергии в последних будут изменяться от 6,90 до 41,40 % от величины суммарного отпуска электрической энергии, поступающей из ЕНЭС ПАО «Федеральная сетевая компания – Россети» общего назначения, и будут в 1,78 – 10,70 раза выше усредненного показателя норматива потерь электрической энергии, взятого в целом по ЕНЭС [4].

Обобщающий анализ показывает, что наименьшие технологические потери активной электроэнергии в понизительных ПС с сочетанием напряжений 110/10(6) кВ и 110/35/10(6) кВ Сергоровского региона «Луганскэнерго» при

трансформации электрической энергии и ступенчатом изменении нагрузки в указанных пределах будут происходить при полной реализации одного из вариантов реновации №1 или №4 этих подстанций.

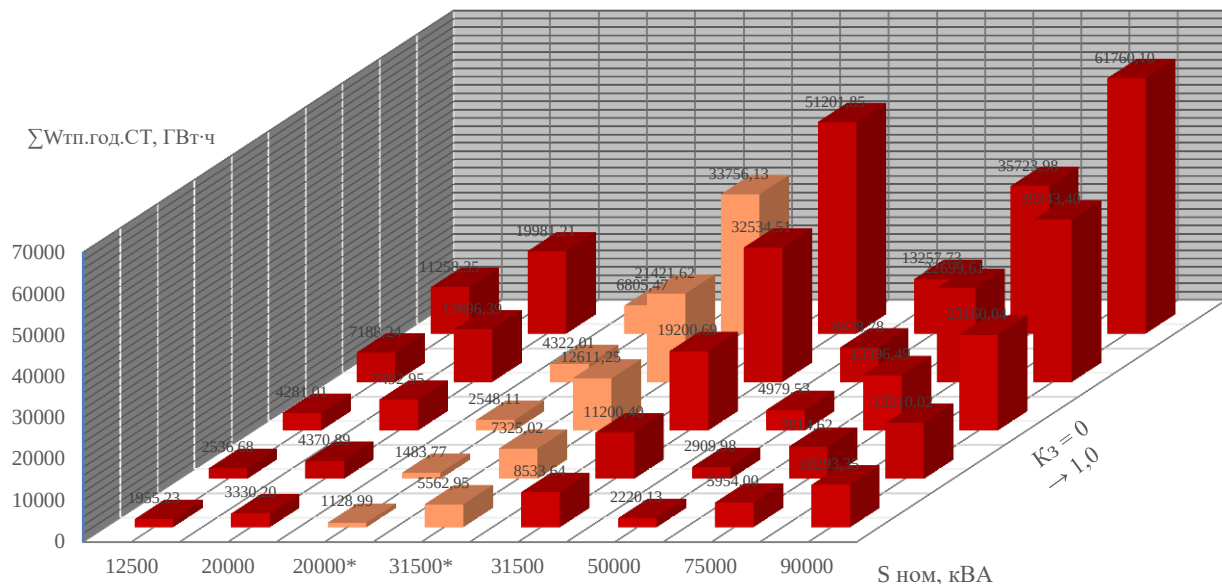


Рис. 13. Зависимости распределения суммарных годовых технологических потерь активной электроэнергии от номинальной мощности сегмента масляных двух- и трехобмоточных СТ серий S(F)11 и S(F)S11, планируемых к установке в понизительных ПС с сочетанием напряжений 110/10(6) кВ и 110/35/10(6) кВ Сергоровского региона «Луганскэнерго», рассчитанные при ступенчатом изменении нагрузки K_3 от 0 до 1,0 $\Sigma W_{т.п.год.СТ} = f(S_{ном})$

Выводы. В результате решения народно-хозяйственной проблемы установлено, что:

1. В последние годы из-за морального износа электротехнического оборудования, нехватки средств на закупку топлива и спада электропотребления из 8 блоков, установленных на АО «Возрождение» – Луганская ТЭС, в работе находится порядка пяти. Учитывая фактическое состояние генерирующего оборудования на АО «Возрождение» – Луганская ТЭС, необходимо существенно увеличить объемы реконструкции и технического перевооружения энергоблоков для повышения их работоспособности и продления срока службы.

2. Кардинальным способом решения указанной проблемы является техническое перевооружение на базе котлов с циркулирующим кипящим слоем.

3. При сокращении генерации на АО «Возрождение» – Луганская ТЭС до 520 МВт отмечается снижение напряжения на шинах 110 кВ подстанций, эксплуатируемых на территории ЛНР, на 4–5 кВ до 109–220 кВ на системообразующих ПС 220/110 кВ «Коммунарская» и «Черкасская», что не выходит за пределы нормируемых значений. При этом потери питания от МЭС ПС 220/110 кВ «Коммунарская» и «Черкасская» приводят к дополнительному снижению уровней напряжения на 3–4 кВ. Для обеспечения допустимых уровней

напряжения требуется включение компенсирующих устройств на ПС 110/35/6 кВ «Паркоммуна».

4. Дополнительный прирост электрической мощности предприятий до 40 МВт в перспективе с присоединением питающих ПС глубокого ввода с сочетанием напряжений 110/10(6) кВ приведет к незначительному увеличению потерь электроэнергии в электросетях Луганского энергоузла и Донбасской ЭЭС до 2,3%.

5. Установлены закономерности распределения суммарных годовых технологических потерь активной электроэнергии в существующих двух- и трехобмоточных СТ понизительных ПС с сочетанием напряжений 110/10(6) кВ и 110/35/10(6) кВ Сергоровского региона «Луганскэнерго», имеющих разные электрические параметры на основной ступени регулирования (РПН), массогабаритные показатели и системы охлаждения обмоток, суть которых в следующем:

– при трансформации электрической энергии и ступенчатом изменении нагрузки в указанных пределах, суммарные технологические потери активной энергии будут изменяться на 8,13–43,54% от величины суммарного отпуска электрической энергии, поступающей из ЕНЭС ПАО «Федеральная сетевая компания – Россети» общего назначения, что выше в 2,10–11,22 раза усредненного показателя

норматива потерь электрической энергии, взятого в целом по ЕНЭС [4].

6. Установлены закономерности распределения суммарных годовых технологических потерь активной электроэнергии в понизительных ПС с сочетанием напряжений 110/10(6) кВ и 110/35/10(6) кВ Сергеевского региона «Луганскэнерго» после планируемой реновации этих подстанций двух- и трехобмоточными СТ отечественного и зарубежного производства (варианты №1–13), имеющими идентичное сочетание напряжений, разные электрические параметры, рассчитанные на основной ступени регулирования (РПН), массогабаритные показатели и системы охлаждения обмоток, рассчитанные для эксплуатации в РЭС-110 кВ промышленной частоты, суть которых в следующем:

– при трансформации электрической энергии и ступенчатом изменении нагрузки в указанных пределах, суммарные годовые технологические потери активной энергии будут изменяться от 4,92 до 46,60% от величины суммарного отпуска электрической энергии, поступающей из ЕНЭС ПАО «Федеральная сетевая компания – Россети» общего назначения, что выше в 1,27–12,00 раз усредненного показателя норматива потерь электрической энергии, взятого в целом по ЕНЭС [4].

7. Результаты исследования, которые заключается в разработке научно-технологического подхода и математической модели, позволяющей при ее практической реализации снизить технологические потери активной электроэнергии в двух- и трехобмоточных СТ на понизительных ПС глубокого ввода с сочетанием напряжений 110/10(6) кВ и 110/35/10(6) кВ, эксплуатируемых на территории ЛНР, имеют теоретическую и практическую значимость.

Список источников

1. Официальный сайт АО «Возрождение» – Луганская ТЭС / Техническая информация. Энергетическая стратегия предприятия [Электронный ресурс]. – URL: <https://aovozr.ru> (дата обращения 14.05.2024 года).
2. Постановление Правительства РФ от 07.04.2025 года № 439 «О внесении изменений в некоторые акты Правительства РФ» [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.zakonrf.info/postanovlenie-pravitelstvo-rf-439-07042025/?ysclid=mbc3yj814d417734448> (дата обращения 15.05.2024 года).
3. Официальный сайт ГУП ЛНР «РСК» / Техническая информация [Электронный ресурс]. – URL: <https://guprsk.ru> (дата обращения 15.05.2024 года).
4. Приказ Министерства энергетики Российской Федерации от 09.11.2023 года № 1022 «Об утверждении нормативов потерь электрической энергии при ее передаче по единой национальной (общероссийской) электрической сети, осуществляемой публичным акционерным обществом «Федеральная сетевая компания – Россети» с использованием объектов электросетевого хозяйства, принадлежащих публичному акционерному обществу «Федеральная сетевая компания – Россети» на праве собственности или ином законном основании, на 2024 год» [Электронный ресурс]. – URL: <https://minenergo.gov.ru/view-df/23795/195515#:~:text=yf> (дата обращения 18.09.2024).
5. Лейтес Л.В. Электромагнитные расчеты трансформаторов и реакторов. – М.: Энергия, 1974. – 392 с.
6. Тихомиров П.М. Расчет трансформаторов: учеб. пособие для вузов. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 582 с.
7. Парсентьев О.С. Влияние технологических факторов производства сухих трансформаторов на потери при трансформации электрической энергии в распределительных электрических сетях напряжением 6–10 кВ ГУП ЛНР «РСК» Единых национальных электрических сетей ПАО «Федеральная сетевая компания – Россети»: Монография / О.С. Парсентьев. – Луганск: Изд-во ЛГУ им. В. Даля; ИП Орехов Д.А., 2024. – 506 с. – ISBN 978-5-6052290-2-5. – EDN GMEMZX.
8. Парсентьев О.С. Оптимизация режимов работы распределительных электрических сетей напряжением 35 кВ энергоэффективными силовыми трансформаторами / О.С. Парсентьев, О.В. Федоров. – Луганск: Изд-во ЛГУ им. В. Даля; ИП Орехов Д.А., 2024. – 238 с.
9. Парсентьев О.С. Повышение технологичности распределительных электрических сетей напряжением 35 кВ Луганского региона ГУП ЛНР «РСК» энергоэффективными двухобмоточными силовыми трансформаторами // Вестник Луганского государственного университета имени Владимира Даля. – 2024. – № 4(82). – С. 77–116.
10. Парсентьев О.С. Повышение технологичности и пропускной способности распределительных электрических сетей напряжением 35 кВ Краснолучского региона ГУП ЛНР «РСК» путем реконструкции // Вестник Луганского государственного университета имени Владимира Даля. – 2024. – № 7(85). – С. 95–132.
11. Парсентьев О.С. Реновация понизительных подстанций в распределительных электрических сетях напряжением 35 кВ Северного региона ГУП ЛНР «РСК» энергоэффективными силовыми трансформаторами // Вестник Луганского государственного университета имени Владимира Даля. – 2024. – № 6 (84). – С. 66–96.
12. Парсентьев О.С. Модернизация распределительных электрических сетей напряжением 35 кВ Краснодарского региона ГУП ЛНР «РСК» для обеспечения качества трансформации электрической энергии // Вестник Луганского государственного университета имени Владимира Даля. – 2024. – № 8 (86). – С. 38–76.
13. Парсентьев О.С. Реконструкция распределительных электрических сетей напряжением 35 кВ Лисичанского региона ГУП ЛНР «РСК» группами номинальной мощности энергоэффективных силовых трансформаторов // Вестник Луганского

государственного университета имени Владимира Дая. – 2024. – № 9(87). – С. 56–93.

14. Парсентьев О.С. Минимизация основных потерь электроэнергии в электрических сетях напряжением 35 кВ Северного региона Луганской Народной Республики путем реновации понизительных подстанций / О.С. Парсентьев, Т.А. Мусаев, О.В. Федоров // Техническая эксплуатация водного транспорта: проблемы и пути развития: материалы Седьмой национальной (всероссийской) научно-технической конференции (14–15 ноября 2024 г.) [Электронный ресурс]; отв. за вып. О.А. Белов. – Электрон. дан. – Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ, 2025. – 1 электрон. опт. диск. – Загл. с экрана. – С.62–67. [ISBN 978-5-328-00436-7].

15. Каталог силовых трансформаторов CEEG / Transformer CO., Ltd known as CEEG, is a power transformer manufacturer[Электронный ресурс]. – URL: <https://ceeg.cn> (дата обращения 15.05.2025 года).

16. ООО «Воронежский трансформатор» / Главная/Каталог. Силовые масляные трансформаторы. Силовые масляные трансформаторы класса напряжения 110 (+150) кВ [Электронный ресурс]. – URL: <https://v-tr.ru/kontakty/#back-call> (дата обращения 27.05.2024 года).

17. ООО «Тольяттинский Трансформатор» / Номенклатурный каталог/Трансформаторы силовые масляные класса напряжения 110 кВ// [Электронный ресурс]. – URL: <https://toltrans.nt-rt.ru> (дата обращения: 30.05.2025 года).

18. АО «Группа «СВЭЛ»/Комплексные решения в энергетике/ Технический каталог/Трансформаторы масляные// [Электронный ресурс]: Режим доступа: <https://svel.ru> – (дата обращения: 30.05. 2024 года).

19. «METTZ Group»/Производственные мощности/Технический каталог/Трансформаторы герметичные маслonaполненные 110 кВ// [Электронный ресурс]: Режим доступа: <https://vacem.ru> – (дата обращения: 30.05.2024 года).

References

1. The official website of JSC «Vozrozhdenie – Lugansk Thermal Power Plant» / Technical information. Energy strategy of the enterprise [Electronic resource]. – URL: <https://aovozr.ru> (accessed 14.05.2024).

2. Decree of the Government of the Russian Federation dated 07.04.2025 No. 439 «On Amendments to certain Acts of the Government of the Russian Federation» [Electronic resource]. – Available at: <https://www.zakonrf.info/postanovlenie-pravitelstvo-rf-439-07042025/?ysclid=mbc3yj814d417734448> (accessed 14.05.2024).

3. The official website of the State Unitary Enterprise LNR "RGC"/Technical information [Electronic resource]. – Available at: <https://guprsk.ru> (accessed 15.05.2025).

4. Order No. 1022 of the Ministry of Energy of the Russian Federation dated 11/09/2023 «On Approval of Standards for Losses of Electric Energy during its Transmission over the Unified National (All-Russian) Electric Grid Carried Out by Public Joint Stock Company Federal Grid Company – Rosseti using Electric Grid Facilities Owned by Public Joint Stock Company Federal Grid Company – Rosseti ownership or other legal basis, for

2024» [Electronic resource]. – Available at: <https://minenergo.gov.ru/view-pdf/23795/195515#:~:text=yf> (accessed 18.09.2024).

5. Leites L.V. Electromagnetic calculations of transformers and reactors. – M.: Energy, 1974. – 392 p.

6. Tikhomirov P.M. Calculation of transformers: textbook. handbook for universities. – 5th ed., revised and add. – M.: Energoatomizdat, 1986. – 582 p.

7. Parsentev O.S. The influence of technological factors in the production of dry transformers on losses during the transformation of electric energy in 6-10 kV distribution electric networks of the State Unitary Enterprise LPR "RGC" of the Unified National Electric Networks of PJSC Federal Grid Company – Rosseti: A monograph / O.S. Parsentev. – Lugansk: Publishing House of the Lugansk State University named after V. Dahl; IP Orekhov D.A., 2024. – 506 p. – ISBN 978-5-6052290-2-5. – EDN GMEMZX.

8. Parsentev O.S. Optimization of operating modes of 35 kV distribution electric networks by energy-efficient power transformers / O.S. Parsentev, O.V. Fedorov. – Lugansk: Publishing House of the Leningrad State University named after V. Dahl; IP Orekhov D.A., 2024. – 238 p.

9. Parsentev O.S. Improving the manufacturability of 35 kV distribution electric networks in the Luhansk region of the State Unitary Enterprise LPR "RGC" with energy-efficient double-winding power transformers // Bulletin of Lugansk State University named after Vladimir Dahl. – 2024. – № 4(82). – P. 77-116.

10. Parsentev O.S. Improving the manufacturability and throughput of 35 kV distribution electric networks in the Krasnoluch region of the State Unitary Enterprise LPR "RGC" through reconstruction // Bulletin of Lugansk State University named after Vladimir Dahl. – 2024. – № 7(85). – P. 95-132.

11. Parsentev O.S. Renovation of step-down substations in 35 kV distribution electric networks in the Northern region of the State Unitary Enterprise LPR "RGC" with energy-efficient power transformers // Bulletin of Lugansk State University named after Vladimir Dahl. – 2024. – № 6(84). – P. 66-96.

12. Parsentev O.S. Modernization of 35 kV distribution electric networks in the Krasnodon region of the State Unitary Enterprise LPR "RGC" to ensure the quality of electric energy transformation // Bulletin of Lugansk State University named after Vladimir Dahl. – 2024. – № 8(86). – P. 38-76.

13. Parsentev O.S. Reconstruction of distribution electric networks with a voltage of 35 kV in the Lisichansk region of the State Unitary Enterprise LPR "RGC" by groups of rated power of energy-efficient power transformers // Bulletin of Lugansk State University named after Vladimir Dahl. – 2024. – № 9(87). – P. 56-93.

14. Parsentev O.S. Minimization of the main losses of electricity in electric networks with a voltage of 35 kV in the Northern region of the Luhansk People's Republic by renovation of step-down substations / O.S. Parsentev, T.A. Mусаев, O.V. Fedorov // Technical operation of water transport: problems and ways of development: proceedings of the Seventh National (All-Russian) scientific and Technical Conference (14-15 November 2024) [Electronic resource]; ed. for issue O.A. Belov. – Electron. dan. –

Petropavlovsk-Kamchatsky: KAMCHATSTU, 2025. – 1 electronic wholesale disk. – Cover from the screen. – P.62-67. – [ISBN 978-5-328-00436-7].

15. Catalog of CEEG power transformers /Transformer CO., Ltd known as CEEG, is a power transformer manufacturer [Electronic resource]. – Available at: <https://ceeg.cn> (accessed 05/15/2024).

16. Voronezh Transformer LLC/Main/Catalog. Power oil transformers. Power oil transformers of voltage class 110 (+150) kV [Electronic resource]. – Available at: <https://v-tr.ru/kontakty/#back-call> (accessed 05/27/2025).

17. Tolyatti Transformer LLC/Nomenclature catalog/Power oil transformers of 110 kV voltage class

[Electronic resource]. – Available at: <https://toltrans.nt-rt.ru> (date of application: 30.05.2024).

18. SVEL Group JSC/Integrated solutions in the energy sector/ Technical Catalog/Oil transformers [Electronic resource]. – Available at: <https://svel.ru> (date of reference: 30.05. 2024).

19. METTZ Group/Production facilities/Technical catalog/Sealed oil-filled 110 kV transformers [Electronic resource]. – Available at: <https://vacem.ru> (date of access: 30.05.2024).

Статья поступила в редакцию 03.10.2024 года

Информация об авторе

Парсентьев Олег Сергеевич, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Электроэнергетика» Луганского государственного университета имени Владимира Даля, г. Луганск.

ORCID: 0009-0005-1639-0730

Автор ID: 1216808, SPIN-код: 7974-9547;

E-mail: parsentevo@mail.ru

Information about the author

Parsentev Oleg Sergeevich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor, of the Department «Electric Power Engineering» Lugansk State University named after Vladimir Dahl, Lugansk.

ORCID: 0009-0005-1639-0730

Author ID: 1216808, SPIN code: 7974-9547;

E-mail: parsentevo@mail.ru

Для цитирования:

Парсентьев О.С. Анализ энергетической ситуации в Донбасской электроэнергетической системе, минимизация технологических потерь электроэнергии в элементах электросети 110 кВ Сергеевского региона «Луганскэнерго» // Вестник Луганского государственного университета имени Владимира Даля. – 2024. – № 11(89). – С. 155-181.

For citation:

Parsentev O.S. Analysis of the energy situation in the Donbass electric power system, minimization of technological losses of electricity in the elements of the 110 kV power grid of the Sergovsk region of «Luganskenergo» // Vestnik of Lugansk State University named after Vladimir Dahl. – 2024. – № 11(89). – С. 155-181.

УДК 621.22: 621.694

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ ТВЕРДЫХ ЧАСТИЦ В ВИХРЕКАМЕРНОМ НАГНЕТАТЕЛЕ

Сёмин Д. А., Левашов А. Н., Ковалевский Д. С.

MODELING THE DYNAMICS OF SOLID PARTICLES IN A VORTEX CHAMBER SUPERCHARGER

Syomin D. A., Levashov A. N., Kovalevsky D. S.

Аннотация. В статье проведено математическое моделирование динамики твердых частиц в вихрекамерном нагнетателе (ВКН) с различными модификациями формы вихревой камеры и выходного канала. Используя метод Эйлера-Лагранжа и модель турбулентности DES-SST, авторы исследовали влияние геометрической формы проточной части на время пребывания частиц в устройстве. Результаты показали, что модифицированная конфигурация ВКН со спиралевидным выходным каналом увеличивает время пребывания частиц по сравнению с базовой версией, что связано с более интенсивным трением и сложной траекторией движения в спиралевидном выходном канале. Исследование подчеркивает важность учета начальных условий для твердых частиц и геометрических параметров для повышения эффективности ВКН при транспортировке дисперсных систем.

Ключевые слова: вихрекамерный нагнетатель, закрученный поток, твердые частицы, моделирование турбулентного течения, дискретная фаза, модель Эйлера-Лагранжа, время пребывания частицы.

Abstract. The article presents a mathematical modeling study of solid particle dynamics in a vortex chamber supercharger with various modifications of the vortex chamber and outlet channel geometries. Using the Euler-Lagrange approach and DES-SST turbulence model, the authors investigated the influence of flow path geometry on particle residence time in the device. The results demonstrated that the modified vortex chamber supercharger configuration with a spiral-shaped outlet channel increases particle residence time compared to the baseline version, which is attributed to enhanced friction and more complex particle trajectories in the spiral outlet. The study highlights the importance of considering initial particle conditions and geometric parameters for improving vortex chamber supercharger efficiency in transporting dispersed systems.

Key words: vortex chamber supercharger, swirling flow, solid particles, turbulent flow modeling, discrete phase, Euler-Lagrange model, particle residence time.

Введение. Множество технологических процессов, в различных отраслях промышленности, аграрном секторе и др. связаны с транспортировкой различных дисперсных систем. Они представляют собой гетерогенные системы, состоящие из двух или более фаз, которые практически не растворяются и не взаимодействуют химически друг с другом. В частности, особое внимание уделяется перекачиванию высокоабразивных и химически агрессивных гетерогенных смесей таких, как различные порошкообразные аэрозоли, суспензии (пульпы, шламы), содержащие жидкую, газообразную и дискретную фазу, в виде твердых частиц.

В угольной, химической, металлургической промышленности для перекачивания подобных гетерогенных систем широкое распространение получили механические машины – центробежные и

свободновихревые насосы, струйные аппараты – прямооточные и вихревые эжекторы.

В горнодобывающей промышленности механические машины эксплуатируются в неблагоприятных условиях, характеризующихся химической агрессивностью рабочей среды и наличием в ней твердых частиц, что приводит к забиванию элементов проточной части, их физическому износу и деградации подвижных уплотнений. При перекачивании гидросмесей содержание газа в виде воздушных пузырей приводит к значительному снижению или срыву параметров центробежных насосов. При этом такие качества механических машин, как высокий КПД, высокая производительность, компактность, малошумность, способствовали их широкому распространению в различных отраслях промышленности. В отдельных случаях, когда насосное оборудование является элементами

критически важных систем, обеспечивающих основные промышленные циклы, внеплановая остановка по причине выхода из строя этих элементов, обусловленного негативными факторами эксплуатации, для их замены или обслуживания приводит к затратам предприятия, многократно превышающим стоимость данного оборудования. Также, когда в случае других ограничений применение механических машин нецелесообразно, свое место находят струйные аппараты.

Струйные аппараты, такие как прямоточные и вихревые эжекторы, вследствие простоты своей конструкции и отсутствия подвижных рабочих элементов, подвижных уплотнений, обладают высокими показателями надежности, полностью определяющейся механическими свойствами материала, из которых они изготовлены, и минимальным влиянием износа проточной части на их работоспособность. Они способны работать на разнообразных жидкостях и газах в широком диапазоне температур и давлений, пожаробезопасностью, нечувствительностью к электромагнитным и радиационным полям, вибрации, ударным нагрузкам и др. Главным недостатком данных аппаратов является сравнительно низкая энергоэффективность. Так, коэффициент полезного действия не превышает 30% для прямоточных насосов и 10% для вихревых

эжекторов, что является сдерживающим фактором широкого их применения в различных областях промышленности.

Повысить показатели энергоэффективности можно путем совершенствования конструкции струйных аппаратов и процессов энергообмена в них. К таким техническими решениям относятся струйные нагнетатели с вихревой камерой смешения. Благодаря комбинированию в рабочем процессе ВКН передачи энергии не только посредством обмена количеством движения, но и перемещением частицы транспортируемой среды под действием центробежной силы на периферию вихревой камеры, в зону повышенного давления [2, 4, 7, 13–18].

Целью настоящей статьи является исследование влияния геометрической формы вихревой камеры и выходного канала ВКН на динамику движения твердых частиц с целью анализа их поведения, что в дальнейшем позволит повысить эффективность устройства.

ВКН (рис. 1) состоит из цилиндрической вихревой камеры, к которой тангенциально присоединены канал питания и выходной канал. Концентрично вихревой камере на торцевых крышках располагаются дренажный канал и канал всасывания.

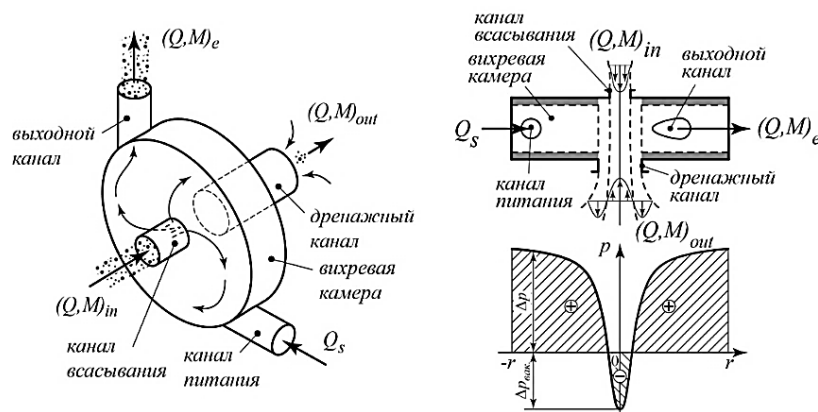


Рис. 1. Слева – схема вихрекамерного нагнетателя: Q_s , Q_{in} , Q_e , Q_{out} – расходы несущей среды: питания, выходной, дренажный и всасывания соответственно. M_s , M_{in} , M_e , M_{out} – массовые расходы перекачиваемой сыпучей среды: всасывания, выходной и дренажный соответственно.

Справа – схема распределения давления по радиусу вихревой камеры

При подаче в канал питания несущего потока с расходом Q_s и давлением p_s , часть его (далее *поток I*) транзитом уходит в выходной канал, вторая часть (далее *поток II*), двигаясь от периферии к оси вихревой камеры, создает вращательное движение в ней и уходит в дренажный канал. Вращательное движение сопровождается повышенным давлением на периферии и вакуумом на оси вихревой камеры (см. рис. 1, справа). Под действием перепада давления формируется поток всасывания $(Q, M)_{in}$, который может состоять из сплошных жидких, газообразных и дисперсных твердых и газообразных в виде пузырей фаз, т.е. многофазный поток. Через

канал всасывания многофазный поток попадает в приосевую область вихревой камеры. В зависимости от физических свойств каждого компонента многофазного потока, таких как плотность, размер частиц дисперсной фазы и других факторов, таких как относительное геометрическое положение отдельной порции многофазного потока в вихревой камере, геометрических соотношений элементов проточной части ВКН, давления в выходном канале и др., поведение отдельных компонентов многофазного потока всасывания может быть различным. В основном, компоненты с меньшей плотностью в сравнении с плотностью потока

питания Q_s сепарируются в приосевой области вихревой камеры, а с большей плотностью – в периферийной области. Часть многофазного потока всасывания, сконцентрированного в приосевой области, увлекается *потоком II*, смешивается с ним и уходит в дренажный канал, образуя дренажный поток $(Q, M)_{out}$. Другая часть многофазного потока, сконцентрированная в периферийной области вихревой камеры, под действием перепада давления уходит в выходной канал и, смешиваясь с *потоком I*, образует выходной поток $(Q, M)_e$.

В результате исследований, направленных на применение ВКН в области пневмотранспорта, т.е. когда рабочей средой является двухфазная дисперсная система «газ-твердое», было установлено, что для дисперсионной среды (воздуха) и дисперсной фазы (дробленый каменный уголь, кварцевый песок) твердые частицы, двигаясь под действием сил инерции, мало меняют свои траектории взаимодействуя с потоком дисперсионной среды, т.е. силы инерции твердых частиц преобладают над силами их взаимодействия с дисперсионной средой. Наиболее выражен данный эффект в периферийной области вихревой камеры, что соответствует зоне формирования течения [5, 8], где тангенциальная составляющая скорости снижается. Вследствие чего траектория движения твердой частицы напоминает ломаную линию (рис. 2). На рис. 2 изображен ВКН конструкция, которого отличается от ВКН на рис.1 коническим (диффузорным) каналом всасывания и наличием радиальным диффузором на выходе дренажного канал [2, 6, 9, 10].

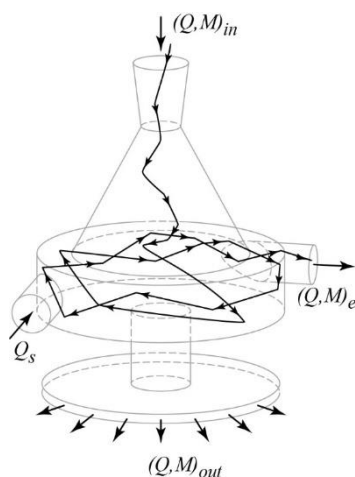


Рис. 2. Траектория твердой частицы в вихрекамерном нагнетателе

Твердая частица, попадая в приосевую область вихревой камеры, где она приобретает тангенциальное и радиальное ускорение, движется к периферии до соударения с боковой поверхностью вихревой камеры. В результате упругого удара происходит отскок частицы и дальнейшее движение до следующего соударения. Это явление повторяется до тех пор, пока частица не покинет

вихревую камеру через тангенциальный выходной канал. Этот процесс является стохастическим, так как на него влияют форма, масса, плотность каждой отдельной частицы, а также несовершенства формы поверхности вихревой камеры, ее шероховатость и т.д.

Исследование показало, что отдельные частицы могут длительное время находиться в вихревой камере, не покидая ее через выходной патрубок, что снижает производительность ВКН. При этом максимальная локальная концентрация твердых частиц наблюдается в периферийной области вихревой камеры ВКН. Уменьшить время нахождения твердой частицы в вихревой камере ВКН и тем самым повысить его производительности удалось использованием выходного канала щелевой формы [2].

Однако, применение щелевого выходного канала не влияет на характер движения твердых частиц в вихревой камере, а только увеличивает вероятность попадания отдельной твердой частицы в выходной канал. Это позволяет сформулировать задачу дальнейших исследований рабочего процесса ВКН и совершенствования элементов его проточной части.

В настоящей статье авторами предложена модифицированная конфигурация ВКН отличающаяся от базовой (рис. 3) кольцевым переходом в выходной канал в виде спирального отвода.

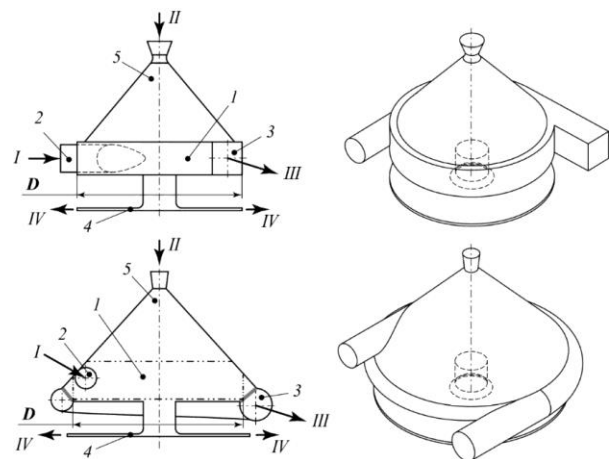


Рис. 3. Схемы базовой конфигурации ВКН – фронтальная проекция (сверху слева), изометрия (сверху справа), и модифицированной конфигурации ВКН – фронтальная проекция (снизу слева), изометрия (снизу справа).

1 – вихревая камера, 2 – канал питания, 3 – выходной канал, 4 – дренажный канал с радиальным диффузором, 5 – конический (диффузорный) канал всасывания. Расходы I, II, III, IV соответствуют Q_s , Q_{in} , Q_e , Q_{out} (см. рис. 1). D – диаметр вихревой камеры

По мнению авторов предложенная конструкция (рис. 3) за счет отсутствия в вихревой камере цилиндрических боковых поверхностей и кольцевого перехода из вихревой камеры в выходной канал позволит сократить количество

соударений и отражений твердых частиц о стенки вихревой камеры, тем самым снизить время пребывания твердых частиц внутри вихревой камеры и, следовательно, повысить производительность ВКН.

Условные границы вихревой камеры показаны штрихпунктирной линией, а кольцевой переход в виде боковой поверхности конуса показан утолщенной линией серого цвета (рис 3 снизу, слева).

На первом этапе проверки выдвинутой гипотезы было выполнено численное моделирование движения твердой частицы в проточной части ВКН для базовой и модифицированной конфигураций.

В настоящее время существует два основных метода численного моделирования дисперсных систем «газ-твердое». Первый – это метод Эйлера-Эйлера, также известный как двухжидкостная модель. Этот метод основан на классической теории гидродинамики. Второй подход – это метод Эйлера-Лагранжа, который рассматривает жидкую фазу как непрерывную, а твердые частицы как дискретную фазу. Затем для получения траекторий частиц, используя метод баланса сил, решаются уравнения Ньютона для дискретной фазы и уравнение неразрывности для жидкой фазы. По сравнению с методом Эйлера-Лагранжа основным недостатком метода Эйлера-Эйлера является то, что последний метод не учитывает свойства частиц, такие как модуль Юнга, диаметр частиц и т.д., а также столкновения частиц между собой и со стенками [1, 3, 11, 12].

В данном исследовании использовался метод Эйлера-Лагранжа с односторонней связью т.е. учитывалось только влияние сплошной фазы на твердую частицу, без взаимного влияния ее на сплошную фазу. В данном случае такое допущение справедливо так как моделирование проводилось для малых объемных концентраций частиц

$\varphi = \frac{V_p}{V_p + V_F} < 1\%$ и влиянием твердых частиц на

сплошную фазу можно пренебречь, где:

V_p – объём твёрдых частиц,

V_F – объём сплошной фазы.

Для моделирования течения сплошной среды использовался метод Detached Eddy Simulation (DES) в сочетании с SST – моделью турбулентности. Данный подход объединяет преимущества LES в областях с крупными вихрями и RANS в пристеночных зонах, что обеспечивает точное разрешение турбулентных структур при приемлемых вычислительных затратах.

Система уравнений включает нестационарные фильтрованные уравнения Навье-Стокса (URANS). При заданном давлении питания $p_s = 10000 \text{ Па}$ максимальные скорости в вихревой камере превышают 100 м/с , что требует учёта сжимаемости.

Определяющие уравнения можно записать следующим образом:

уравнение неразрывности

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho \tilde{u}_j)}{\partial x_j} = 0,$$

уравнение Навье-Стокса

$$\frac{\partial(\rho \tilde{u}_i)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho \tilde{u}_i \tilde{u}_j)}{\partial x_j} = -\frac{\partial \tilde{p}}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\mu \left(\frac{\partial \tilde{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \tilde{u}_j}{\partial x_i} - \frac{2}{3} \delta_{ij} \frac{\partial \tilde{u}_k}{\partial x_k} \right) \right] + \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_j}$$

Гипотеза Буссинеска для турбулентных напряжений:

$$\tau_{ij} = -\rho u_i' u_j' = \mu_t \left(\frac{\partial \tilde{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \tilde{u}_j}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} \rho k \delta_{ij}.$$

Базовая SST k- ω модель (RANS-режим):

уравнение для турбулентной кинетической энергии k

$$\frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho \tilde{u}_j k)}{\partial x_j} = P_k - \beta^* \rho \omega k + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[(\mu + \sigma_k \mu_t) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right];$$

уравнение для удельной диссипации ω

$$\frac{\partial(\rho \omega)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho \tilde{u}_j \omega)}{\partial x_j} = \alpha \frac{\omega}{k} P_k - \beta \rho \omega^2 + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[(\mu + \sigma_\omega \mu_t) \frac{\partial \omega}{\partial x_j} \right] +$$

$$+ 2(1 - F_1) \rho \sigma_{\omega 2} \frac{1}{\omega} \frac{\partial k}{\partial x_j} \frac{\partial \omega}{\partial x_j};$$

производство турбулентности P_k

$$P_k = \mu_t \left(\frac{\partial \tilde{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \tilde{u}_j}{\partial x_i} \right) \frac{\partial \tilde{u}_i}{\partial x_j} - \frac{2}{3} \rho k \delta_{ij} \frac{\partial \tilde{u}_k}{\partial x_k};$$

турбулентная вязкость μ_t

$$\mu_t = \frac{\rho a_1 k}{\max(a_1 \omega, SF_2)}, \quad S = \sqrt{2S_{ij} S_{ij}}, \quad S_{ij} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial \tilde{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \tilde{u}_j}{\partial x_i} \right).$$

Модификация для DES:

масштаб турбулентности для RANS

$$l_{RANS} = \frac{\sqrt{k}}{\beta^* \omega}, \quad \beta^* = 0.09;$$

масштаб турбулентности для DES (переключение RANS в LES)

$$l_{DES} = \min(l_{RANS}, C_{DES} \Delta), \quad \Delta = \max(\Delta_x, \Delta_y, \Delta_z);$$

модифицированное уравнение для k (LES-режим)

$$\frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho \tilde{u}_j k)}{\partial x_j} = P_k - \rho \frac{k^{3/2}}{l_{DES}} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[(\mu + \sigma_k \mu_t) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right];$$

вихревая вязкость в LES-зонах

$$\mu_t^{LES} = \rho (C_{DES} \Delta)^2 S, \quad C_{DES} = 0.61.$$

Граничные условия:

на стенке, $k = 0, \omega = \frac{6\nu}{\beta_1 y^2}$, где y – расстояние до стенки;

для каналов питания, выходного и дренажного задавались массовые расходы

$$\rho Q_s = 5.8 \cdot 10^{-3} \text{ кг/с},$$

$$\rho Q_{ex} = 8.4 \cdot 10^{-4} \text{ кг/с},$$

$$\rho Q_{out} = 6 \cdot 10^{-3} \text{ кг/с},$$

для канала всасывания использовалось граничное условие давление на входе равно нулю.

Основные геометрические соотношения ВКН приведены в [6], диаметр вихревой камеры D равнялся 60 мм.

Для проведения численного моделирования была сгенерирована неструктурированная полиэдральная расчетная сетка, общее количество элементов которой составило 4.2 миллиона. При построении сетки особое внимание было уделено обеспечению требуемого значения безразмерного расстояния до стенки y^+ : 1 первого узла, являющегося ключевым параметром для корректного разрешения пограничного слоя при использовании моделей турбулентности. В LES-зонах размер ячейки Δ меньше локального размера вихря.

Для решения системы уравнений Навье-Стокса был применен алгоритм SIMPLEC (Semi-Implicit Method for Pressure-Linked Equations Consistent) - модифицированная версия SIMPLE с улучшенной коррекцией давления. Дискретизация уравнений осуществлялась с использованием следующих численных схем: члены адвекции – ограниченная центрально-разностная схема второго порядка точности (Bounded Central Differencing); градиенты – метод наименьших квадратов (Least Squares Cell-Based); уравнения давления – схема второго порядка точности (Second Order); уравнения турбулентности – схема второго порядка против потока (Second Order Upwind).

Критерии сходимости решения были заданы следующим образом: целевое значение среднеквадратичных (RMS) невязок: 1×10^{-5} ; дополнительный контроль по сохранению глобальных балансов массы и импульса.

Расчеты проводились с фиксированным временным шагом $\Delta t = 1 \times 10^{-7}$ [с], что обеспечивало выполнение условия числа Куранта ($CFL < 1$) во всей расчетной области.

Численное интегрирование проводилось до тех пор, пока изменение полей скорости и давления не приобретет квазипериодический характер, т.е. пока прецессирующее вихревое ядро не сделает несколько периодов. После чего с шагом $\Delta t = 1 \times 10^{-5}$ [с] поля скорости, давления, параметров турбулентности и т.д. сохранялись на протяжении промежутка времени $t = 0.5$ [с], для дальнейшей выгрузки в DEM (Discrete element method) модуль, и анализа поведения твердых частиц.

Основные параметры частиц и потока приведены в табл. 1.

Таблица 1

Параметры частиц и потока	
Диаметр сферической частицы d_p	0.3 мм
Плотность частицы ρ_p	2600 кг/м ³
Плотность газа ρ_f	1.2 кг/м ³
Вязкость газа μ_f	$1.8 \cdot 10^{-5}$ Па·с
Характерное время вихря τ_f (масштаб времени крупных структур)	0.003 с
Скорость в ядре вихря $\mathbf{v}_f$ (максимальная скорость в приосевой зоне)	100 м/с

Число Рейнольдса для частицы (Re_p):

$$Re_p = \frac{\rho_f \cdot d_p \cdot |\mathbf{v}_f - \mathbf{v}_p|}{\mu_f} = \frac{1.2 \cdot 3 \cdot 10^{-4} \cdot 100}{1.8 \cdot 10^{-5}} = 2000.$$

Для рассчитанного числа Рейнольдса рассчитаем время релаксации частицы и число Стокса:

$$\tau_p = \frac{\rho_p \cdot d_p^2}{18 \mu_f} = \frac{2600 \cdot (3 \cdot 10^{-4})^2}{18 \cdot 1.8 \cdot 10^{-5}} \approx 0.072 \text{ с};$$

$$Stk = \frac{\tau_p}{\tau_f} = \frac{0.072}{0.003} = 24.$$

Частица крайне инерционна, так как $Stk \gg 1$, и мало реагирует на пульсации потока.

Сила аэродинамического сопротивления:

$$\mathbf{F}_{drag} = \frac{1}{2} C_d \rho_f \pi r_p^2 |\mathbf{v}_f - \mathbf{v}_p| (\mathbf{v}_f - \mathbf{v}_p),$$

где r_p – радиус частицы, $\mathbf{v}_p$ – скорость частицы,

C_d – эмпирический коэффициент и является функцией числа Рейнольдса.

$$C_d = \begin{cases} \frac{24}{Re_p} (1 + 0.15 Re_p^{0.687}) & \text{при } Re_p \leq 1000, \\ 0.44 & \text{при } Re_p > 1000. \end{cases}$$

Центробежная сила:

$$\mathbf{F}_{centr} = \frac{m_p \cdot \mathbf{v}_\theta^2}{r}, \quad m_p = \frac{\pi \rho_p d_p^3}{6},$$

где m_p – масса частицы, $\mathbf{v}_\theta$ – окружная скорость частицы, r – радиус вращения частицы.

Для $r = 0.01$ м:

$$\mathbf{F}_{centr} \approx 2600 \cdot \frac{\pi (3 \cdot 10^{-4})^3 \cdot 10^2}{6 \cdot 0.01} \approx 3.7 \cdot 10^{-4} \text{ Н}.$$

Сравнивая центробежную силу с силой тяжести:

$$\mathbf{F}_{centr} = m_p \cdot g \times 3.6 \times 10^{-7} \text{ Н} \Rightarrow \mathbf{F}_{centr} \ll \mathbf{F}_g$$

Учитывая, что сила тяжести многократно ниже центробежной силы, силой тяжести можно пренебречь.

Подъемная сила (сила Магнуса):

$$\mathbf{F}_{Magnus} = \frac{1}{2} C_L \rho_f \pi r_p^2 |\mathbf{v}_f - \mathbf{v}_p|^2 \cdot \frac{\boldsymbol{\omega}_p \times (\mathbf{v}_f - \mathbf{v}_p)}{|\boldsymbol{\omega}_p| \cdot |\mathbf{v}_f - \mathbf{v}_p|},$$

где C_L – коэффициент подъемной силы, $\boldsymbol{\omega}_p$ – угловая скорость частицы.

$$C_L \approx \frac{r_p \cdot \omega_p}{|\mathbf{v}_f - \mathbf{v}_p|}$$

Подъемная сила (сила Саффмана):

$$\mathbf{F}_{\text{Saffman}} = K \cdot \rho_f d_p^2 (\mathbf{v}_f - \mathbf{v}_p)^2 \frac{\sqrt{|\nabla \mathbf{v}_f|}}{\text{Re}^{0.25}},$$

где K – эмпирическая константа (≈ 6.46 для сфер).

Момент от аэродинамических сил:

$$\mathbf{M}_{\text{torque}} = \pi \mu_f d_p^3 \left(\frac{1}{2} \nabla \times \mathbf{v}_f - \omega_p \right).$$

Определяем взаимодействия частиц со стенками вихревой камеры. Нормальный контакт моделируется законом Герца:

$$\mathbf{F}_n = -k_n \delta_n - \eta_n v_n,$$

где k_n – жесткость,

δ_n – глубина проникновения частицы в стенку,

η_n – коэффициент демпфирования,

v_n – нормальная скорость удара.

Тангенциальный контакт (трение скольжения) описывается моделью трения Кулона:

$$\mathbf{F}_t = \min(\mu_w F_n, k_t \delta_t + \eta_t v_t),$$

где μ_w – коэффициент трения между частицей и стенкой,

F_n – нормальная сила контакта,

k_t – тангенциальная жесткость,

δ_t – тангенциальное смещение,

η_t – коэффициент демпфирования,

v_t – тангенциальная скорость скольжения.

В результате получим уравнения движения частиц.

$$m_p \frac{d\mathbf{v}_p}{dt} = \mathbf{F}_{\text{drag}} + \mathbf{F}_{\text{centr}} + \mathbf{F}_{\text{lift}} + \mathbf{F}_{\text{wall}},$$

$$I_p \frac{d\omega_p}{dt} = \mathbf{M}_{\text{torque}},$$

где $\mathbf{F}_{\text{drag}}$ – сила сопротивления,

$\mathbf{F}_{\text{centr}}$ – центробежная сила,

$\mathbf{F}_{\text{lift}}$ – подъемная сила (Магнуса/Саффмана),

$\mathbf{F}_{\text{wall}}$ – сила взаимодействия со стенкой,

I_p – момент инерции сферы $I_p = \frac{2}{5} m_p r_p^2$.

С учетом приведенных сил выполнено моделирование динамики сферических твердых частиц диаметром 0,3 мм и плотностью 2600 кг/м³ (соответствует плотности кварцевого песка). Частицы подавались в канал всасывания с начальной скоростью 1 м/с на протяжении 0.5 с, через сечение (inlet) круглой формы диаметром 6 мм, расположенное в области горла канала всасывания. В этом сечении частицы генерировались по условию равномерного распределения по площади, т.е. алгоритм распределяет частицы таким образом, чтобы появление частицы для каждого отдельного элемента площади было равновероятным. Таким образом обеспечивалось равномерное распределение начальных условий для отдельных частиц.

Моделирование выполнено в односторонней нестационарной постановке, т.е. без учета взаимного влияния твердых частиц на несущий газовый поток и с учетом нестационарных явлений (с шагом обновления полей параметров потока $\Delta t = 1 \times 10^{-5}$ [с]), присущих гидродинамике вихревой камеры.

Для выборки из 800 частиц было построено распределение времени пребывания частиц в вихревой камере. Результаты представлены на рис. 4 для базовой конфигураций.

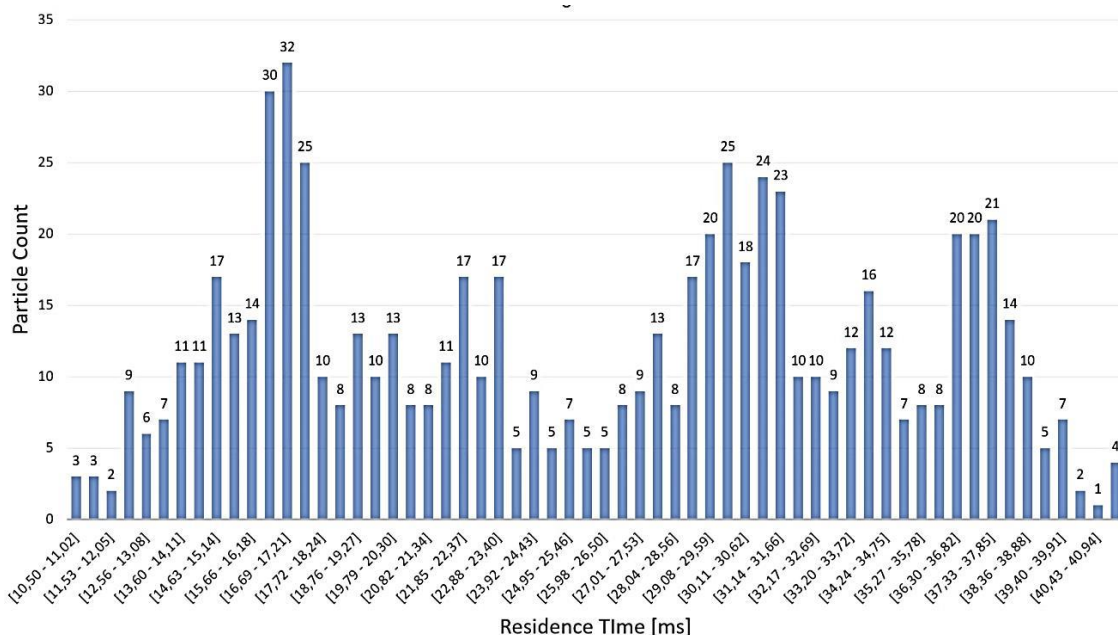


Рис. 4. Распределение времени пребывания частиц в ВКН базовой конфигурации

Максимальное, среднее и минимальное время пребывания частиц в вихревой камере для базовой конфигурации составило ~ 40 мс, ~ 25 мс и ~ 10 мс соответственно. Из распределения (рис. 4) видно три выраженных пика в области ~ 17 мс, ~ 30 мс и ~ 37 мс. Частицы время пребывания, которых близко 17 мс (рис. 5) и менее, в основном двигаются по ломаным траекториям, мало взаимодействуют со стенками вихревой камеры (от 1 до 3 отражений) и практически не испытывают трение скольжения, т.е. частицы не двигаются вдоль стенки, а отражаются от них, двигаются по хордам и быстро уходят в выходной канал.

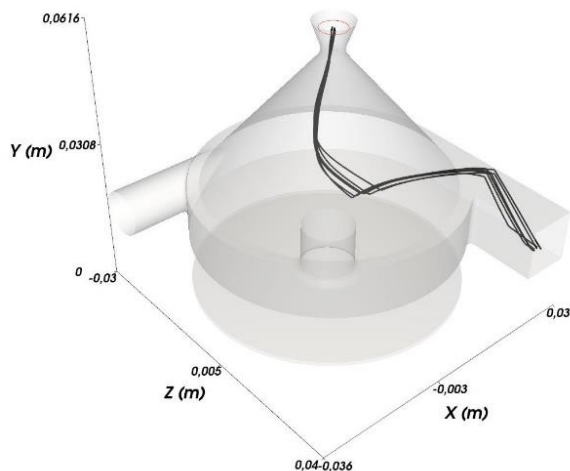


Рис. 5. Характерные траектории частиц с временем пребывания в вихревой камере ~ 17 мс (ВКН базовой конфигурации)

Частицы со временем пребывания в диапазоне ~ 20 мс $\div$ ~ 30 мс (рис. 6) вследствие большего числа соударений со стенками камеры постепенно теряют свою кинетическую энергию, начинают двигаться в значительно большей мере, испытывая трение скольжения вдоль цилиндрической стенки вихревой камеры уже с меньшей скоростью. Эта группа частиц в результате своего движения вдоль цилиндрической стенки вихревой камеры совершают менее одного периода вращения вокруг оси камеры, прежде чем покинут ее через выходной канал.

Частицы время пребывания, которых выше ~ 35 мс совершают более одного цикла вращения вокруг оси вихревой камеры вследствие взаимодействия с несущим потоком в пограничных слоях, областях высоких градиентов скоростей и давлений частица может выбрасываться в ядро потока в результате чего совершает следующий цикл вращения в камере (рис. 7).

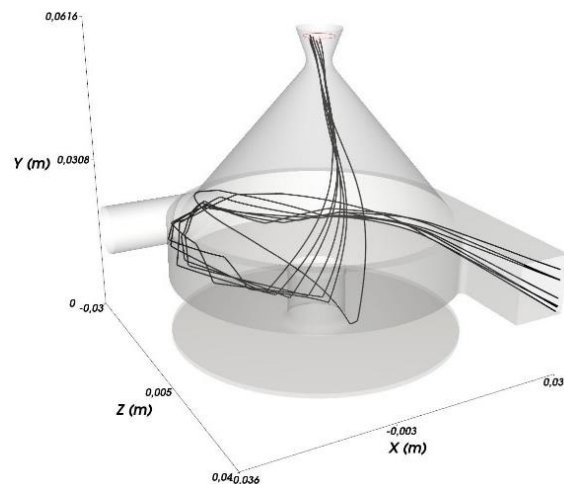


Рис. 6. Характерные траектории частиц с временем пребывания в вихревой камере ~ 30 мс (ВКН базовой конфигурации)

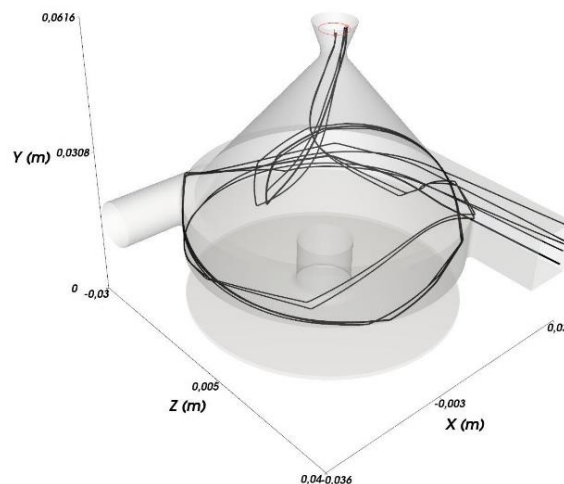


Рис. 7. Характерные траектории частиц с временем пребывания в вихревой камере ~ 40 мс (ВКН базовой конфигурации)

Результаты распределения времени пребывания для выборки из 800 частиц в вихревой камере, модифицированной конфигураций представлены на рис. 8.

Максимальное, среднее и минимальное время пребывания частиц в вихревой камере для модифицированной конфигурации составило ~ 60 мс, ~ 32 мс и ~ 17 мс соответственно.

Из распределения (рис. 8) видно два выраженных пика в области ~ 25 мс и ~ 33 мс. Как и для базовой конфигурации, частицы с самым низким временем пребывания в основном мало взаимодействуют со стенками вихревой камеры и после нескольких отражений уходят в выходной канал (рис. 9). Траектории частиц для среднего и максимального времени пребывания представлены на рис. 10 и рис. 11 соответственно.

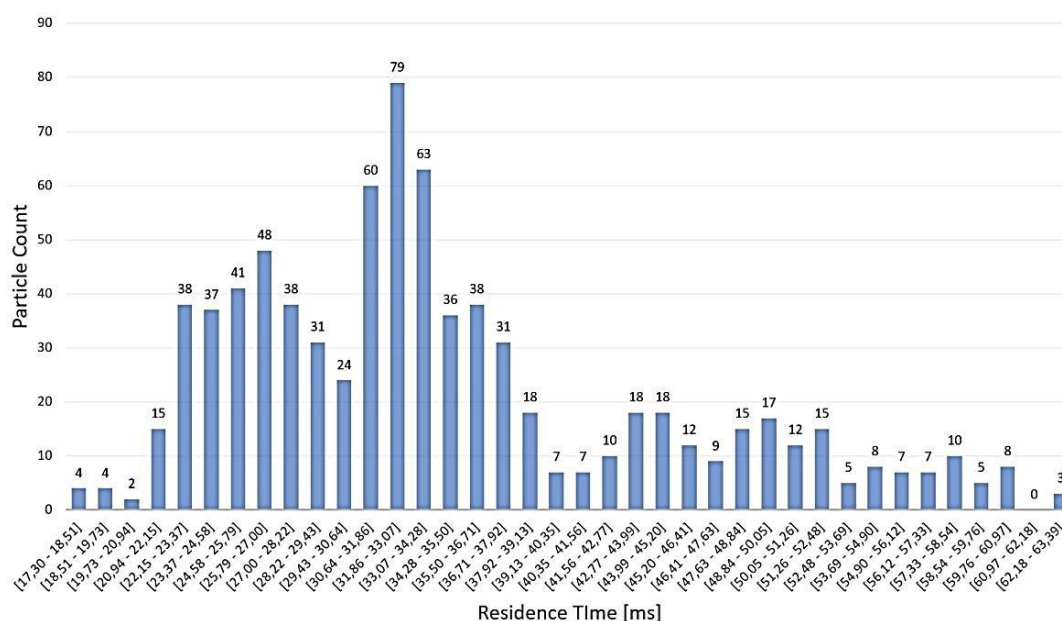


Рис. 8. Распределение времени пребывания частиц в ВКН модифицированной конфигурации

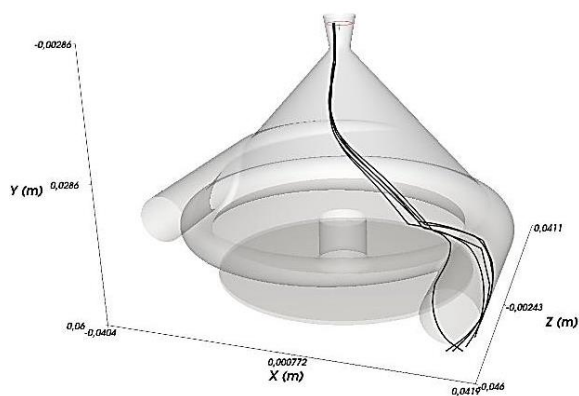


Рис. 9. Характерные траектории частиц с временем пребывания в вихревой камере ~18 мс (ВКН модифицированной конфигурации)

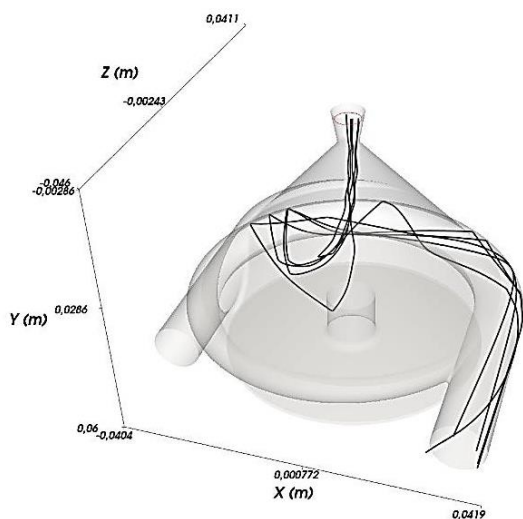


Рис. 10. Характерные траектории частиц с временем пребывания в вихревой камере ~32 мс (ВКН модифицированной конфигурации)

Поведение частиц со средним временем пребывания ~32 мс (рис. 10) для модифицированной конфигурации схоже с поведением частиц в базовой конфигурации. Основное отличие заключается в том, что, когда частица попадает в спиралевидный выходной канал, поверхность которого представляет собой спирально-тороидальную поверхность, она начинает двигаться по геликоидальной траектории. В ходе этого под действием сил трения скольжения частица теряет свою кинетическую энергию и в результате переходит к перемещению вдоль осевой линии спирального канала.

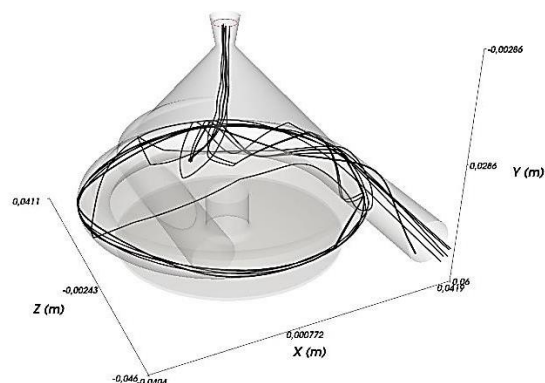


Рис. 11. Характерные траектории частиц с временем пребывания в вихревой камере ~60 мс (ВКН модифицированной конфигурации)

Частицы время пребывания, которых выше ~45 мс (рис. 11), также, как и для базовой конфигурации, совершают более одного цикла вращения вокруг оси вихревой камеры. Это те частицы, которые в результате своего движения не сразу попали в спиралевидный выходной канал, а взаимодействуя с конической (поверхность канала

всасывания) и плоской (торцевая поверхность вихревой камеры) поверхностями, совершают более одного цикла вращения в вихревой камере.

Выводы. Попадая в приосевую область, частицы под действием силы аэродинамического сопротивления приобретают окружную скорость, а затем, под действием центробежных сил перемещаются на периферию, где в результате соударения со стенкой камеры частица возвращается в поток, теряя при этом часть своей энергии. После чего цикл повторяется, пока частица не покинет вихревую камеру через выходной канал. Если после нескольких соударений частица не попадет в выходной канал, потеряв большую часть своей энергии, она будет перемещаться вдоль стенки вихревой камеры без соударений с нею, пока не покинет вихревую камеру.

Основное влияние на поведение частицы в вихревой камере оказывают начальные условия, т.е. ключевым является то, в какую область приосевой зоны и в какой момент времени попадает частица. Соответственно от этого зависит какое количество энергии приобретет частица и в каком направлении будет отброшена на периферию по соответствующей траектории.

Сравнительный анализ динамики движения твердых частиц для двух рассмотренных конфигураций ВКН показал, что траектории движения частиц представляют собой сложные кривые и в обоих случаях имеют схожие кинематические и динамические характеристики. Среднестатистические скорости частиц за все время пребывания в проточной части ВКН практически одинаковы и составляют величины порядка 10 м/с, а значит близки по своим значениям импульс и энергия частиц. Элементы траектории твердых частиц, построенные в виде отрезков, соединяющих точки двух последовательных соударений частицы со стенками камеры, в спиралевидном канале более короткие. Движение частицы быстрее демпфируется, взаимодействуя со спирально-тороидальной поверхностью выходного канала модифицированной конфигурации, в отличие от случая взаимодействия с цилиндрической стенкой для базовой конфигурации. В дальнейшем скорости частиц в обоих случаях почти не отличаются. Таким образом, более длительное пребывание частиц в модифицированной конфигурации устройства обусловлено большей длиной пути, который проходит частица вдоль стенки в спиралевидном канале по геликоидальной траектории и более интенсивным снижением скорости в результате трения о стенку.

Для углубления анализа процессов энергообмена и массопереноса в проточной части ВКН при транспортировании дисперсных систем газ-твердое необходимы дальнейшие исследования с учетом взаимного влияния частиц на параметры несущего газового потока, особенно в приосевой зоне, где скорости несущего потока наибольшие.

Список источников

1. Гарбарук А. В. Моделирование турбулентности в расчетах сложных течений / А. В. Гарбарук, М. Х. Стрелец, М. Л. Шур. – Санкт-Петербург : Изд-во Политехнического ун-та, 2012. – 88 с.
2. Левашов А. Н. Совершенствование рабочих характеристик вихрекамерных нагнетателей для пневмотранспортных систем мелкодисперсных сыпучих грузов : Дис ... канд. техн. наук: 05.22.01 / Левашов Артем Николаевич. – Луганск : Луганский государственный университет имени Владимира Даля, 2022. – 158 с.
3. Лойцянский, Л. Г. Механика жидкости и газа / Л. Г. Лойцянский. – 7. изд., испр. – М. : Дрофа, 2003. – 840 с.
4. Роговой А. С. Совершенствование энергетических характеристик струйных нагнетателей : Дис ... канд. техн. наук: 05.05.17 / Роговой Андрей Сергеевич. – Луганск : Восточноукраинский национальный университет имени Владимира Даля, 2007. – 193 с.
5. Сёмин Д. А. Моделирование однофазного потока в вихрекамерном нагнетателе / Д. А. Сёмин, А. Н. Левашов, Я. Н. Левашов, Д. С. Ковалевский // Вестник Луганского государственного университета имени Владимира Даля. – 2021. – № 11 (53). – С. 119-125.
6. Сёмин Д. А. Моделирование работы вихрекамерного нагнетателя в системах трубопроводного пневмотранспорта мелкодисперсных сыпучих грузов / Д. А. Сёмин, А. Н. Левашов, Я. Н. Левашов // Вестник Луганского государственного университета имени Владимира Даля. – 2022. – № 4 (58). – С. 239-245.
7. Сёмин, Д. А. Особенности рабочего процесса и характеристик безроторных центробежных насосов / Д. А. Сёмин, А. С. Роговой // Теория и практика насосо- и компрессоростроения / В. А. Марцинковский и др. ред. . – Сумы : Сумский государственный университет, 2011. – С. 340-346.
8. Сёмин Д. А. Разработка и совершенствование характеристик крупномасштабных вихревых клапанов : Дис ... канд. техн. наук / Сёмин Дмитрий Александрович. – Луганск, 1992. – 203 с.
9. Сёмин Д. А. Снижение потерь перекачиваемой среды в вихрекамерных нагнетателях / Д. А. Сёмин, А. Н. Левашов, Я. Н. Левашов, Н. А. Погонина // Вестник Луганского национального университета имени Владимира Даля. – 2017. – № 4-2 (6). – С. 196-199.
10. Сёмин, Д. А. Совершенствование рабочих характеристик вихрекамерных нагнетателей / Д. А. Сёмин, А. Н. Левашов, Я. Н. Левашов // Гидравлические машины, гидроприводы и гидропневмоавтоматика. Современное состояние и перспективы развития. – 2016. – С. 383-388.
11. Смирнов Е. М. Использование современных вычислительных технологий для решения задач

промышленной аэродинамики / Е. М. Смирнов // Труды СПбГТУ. – 2009. – № 511. – С. 36-54.

12. Смирнов Е. М. Течения вязкой жидкости и модели турбулентности: методы расчета турбулентных течений. Конспект лекций / Е. М. Смирнов, А. В. Гарбарук. – Санкт-Петербург : Изд-во Политехн. ун-та, 2010. – 127 с.

13. Сьомін Д. О. Вихорокамерні нагнітачі / Д. О. Сьомін, А. С. Роговий. – Х. : ФОП Мезіна В.В., 2017. – 204 с.

14. Сьомін Д. О. Підвищення ефективності переміщення вантажів трубопровідним транспортом засобами струминної арматури : Дис ... д-ра техн. наук: 05.22.12 / Сьомін Дмитро Олександрович. – Луганськ : Східноукраїнський національний ун-т ім. Володимира Даля, 2004. – 381 с.

15. Сьомін Д. О. Вихрові виконавчі пристрої : Однорідні робочі середовища : в 2 т. Т. 1 / Д. О. Сьомін, В. О. Павлюченко, Я. І. Мальцев, и др. – Луганськ : СЧУ ім. В. Даля, 2009. – 256 с.

16. Сьомін Д. О. Вихрові виконавчі пристрої : Гетерогенні робочі середовища : в 2 т. Т. 2 / Д. О. Сьомін, В. О. Павлюченко, Я. І. Мальцев, и др. – Луганськ : СЧУ ім. В. Даля, 2013. – 190 с.

17. Apparatus for the control for injection of dry solids into a high pressure fluid stream : patent № 4,543,017 USA : Int. CL. B65G 53/30 / J. L. Beck. ; assignee Conoco Inc., Ponca City, Okla. – № 519,474 ; appl. 1.8.1983 ; publ. 24.9.1985. – 7 p.

18. Underwater oil and gas leak containment systems and methods : patent № US9038734B1 USA : Int. CL. E21B 43/01 / J. L. Beck. ; assignee United States. – № 14/543,633 ; appl. 17.11.2014 ; publ. 26.5.2015. – 14 p.

References

1. Garbaruk A. V. Modelirovanie turbulentnosti v raschetakh slozhnykh techenii / A. V. Garbaruk, M. Kh. Strelets, M. L. Shur. – Sankt-Peterburg : Izd-vo Politekhicheskogo un-ta, 2012. – 88 s.

2. Levashov A. N. Sovershenstvovanie rabochikh kharakteristik vikhrekamernykh nagnetatelei dlya pnevmotransportnykh sistem melkodispersnykh sypuchikh грузов : Dis ... kand. tekhn. nauk: 05.22.01 / Levashov Artem Nikolaevich. – Lugansk : Luganskii gosudarstvennyi universitet imeni Vladimira Dalya, 2022. – 158 s.

3. Loitsyanskii L. G. Mekhanika zhidkosti i gaza / L. G. Loitsyanskii. – 7. izd., ispr. – M. : Drofa, 2003. – 840 s.

4. Rogovoi, A. S. Sovershenstvovanie energeticheskikh kharakteristik struinykh nagnetatelei : Dis ... kand. tekhn. nauk: 05.05.17 / Rogovoi Andrei Sergeevich. – Lugansk : Vostochnoukrainskii natsional'nyi universitet imeni Vladimira Dalya, 2007. – 193 s.

5. Semin D. A. Modelirovanie odnofaznogo potoka v vikhrekamernom nagnetatele / D. A. Semin, A. N. Levashov, Ya. N. Levashov, D. S. Kovalevskii // Vestnik Luganskogo gosudarstvennogo universiteta

imeni Vladimira Dalya. – 2021. – № 11 (53). – S. 119-125.

6. Semin D. A. Modelirovanie raboty vikhrekamernogo nagnetatelya v sistemakh truboprovodnogo pnevmotransporta melkodispersnykh sypuchikh грузов / D. A. Semin, A. N. Levashov, Ya. N. Levashov // Vestnik Luganskogo gosudarstvennogo universiteta imeni Vladimira Dalya. – 2022. – № 4 (58). – S. 239-245.

7. Semin D. A. Osobennosti rabochego protsessa i kharakteristik bezrotornykh tsentrobezhnykh nasosov / D. A. Semin, A. S. Rogovoi // Teoriya i praktika nasoso- i kompressorostroeniya / V. A. Martsinkovskii i dr. red. . – Sumy : Sumskii gosudarstvennyi universitet, 2011. – S. 340-346.

8. Semin D. A. Razrabotka i sovershenstvovanie kharakteristik krupnomasshtabnykh vikhrevykh klapanov : Dis ... kand. tekhn. nauk / Semin Dmitrii Aleksandrovich. – Lugansk, 1992. – 203 s.

9. Semin D. A. Snizhenie poter' perekachivaemoi sredy v vikhrekamernykh nagnetatelyakh / D. A. Semin, A. N. Levashov, Ya. N. Levashov, N. A. Pogonina // Vestnik Luganskogo natsional'nogo universiteta imeni Vladimira Dalya. – 2017. – № 4-2 (6). – S. 196-199.

10. Semin D. A. Sovershenstvovanie rabochikh kharakteristik vikhrekamernykh nagnetatelei / D. A. Semin, A. N. Levashov, Ya. N. Levashov // Gidravlicheskie mashiny, gidroprivody i gidropnevmavtomatika. Sovremennoe sostoyanie i perspektivy razvitiya. – 2016. – S. 383-388.

11. Smirnov E. M. Ispol'zovanie sovremennykh vychislitel'nykh tekhnologii dlya resheniya zadach promyshlennoi aerodinamiki / E. M. Smirnov // Trudy Spbgty. – 2009. – № 511. – S. 36-54.

12. Smirnov E. M. Tcheniya vyazkoi zhidkosti i modeli turbulentnosti: metody rascheta turbulentnykh techenii. Konspekt lektsii / E. M. Smirnov, A. V. Garbaruk. – Sankt-Peterburg : Izd-vo Politekh. un-ta, 2010. – 127 s.

13. Semin D. O. Vykhoro kamerni nahnitachi / D. O. Siomin, A. S. Rogovyi. – Kh. : FOP Mezina V.V., 2017. – 204 s.

14. Semin D. O. Pidvyshchennia efektyvnosti peremishchennia vantazhiv truboprovodnym transportom zasobamy struminnoyi armatury : Dis ... d-ra tekhn. nauk: 05.22.12 / Siomin Dmytro Oleksandrovych. – Luhansk : Skhidnoukrainskyi natsionalnyi un-t im. Volodymyra Dalya, 2004. – 381 s.

15. Semin D. O. Vykhrovi vykonavchi prystroi : Odnoridni robochi seredovyscha : v 2 t. T. 1 / D. O. Siomin, V. O. Pavliuchenko, Ya. I. Maltsev, ta in. – Luhansk : SNU im. V. Dalya, 2009. – 256 s.

16. Semin D. O. Vykhrovi vykonavchi prystroi : Heterohenni robochi seredovyscha : v 2 t. T. 2 / D. O. Siomin, V. O. Pavliuchenko, Ya. I. Maltsev, ta in. – Luhansk : SNU im. V. Dalya, 2013. – 190 s.

17. Apparatus for the control for injection of dry solids into a high pressure fluid stream : patent №

4,543,017 USA : Int. CL. B65G 53/30 / J. L. Beck. ; assignee Conoco Inc., Ponca City, Okla. – № 519,474 ; appl. 1.8.1983 ; publ. 24.9.1985. – 7 p.

18. Underwater oil and gas leak containment systems and methods : patent № US9038734B1 USA : Int. CL. E21B 43/01 / J. L. Beck. ; assignee United

States. – № 14/543,633 ; appl. 17.11.2014 ; publ. 26.5.2015. – 14 p.

Статья поступила в редакцию 03.11.2024

Информация об авторах

Сёмин Дмитрий Александрович, д.т.н., профессор кафедры «Гидрогазодинамика» Луганского государственного университета имени Владимира Даля, г. Луганск.

E-mail: sdaa261@yandex.ru

Левашов Артем Николаевич, к.т.н., доцент кафедры «Гидрогазодинамика» Луганского государственного университета имени Владимира Даля, г. Луганск.

E-mail: boschcdi@yandex.ru

Ковалевский Денис Сергеевич аспирант кафедры «Транспортные технологии» Луганского государственного университета имени Владимира Даля, г. Луганск.

Information about the authors

Syomin Dmitry Alexandrovich, Doctor of Technical Sciences, Full Professor at the Department of Fluid and Gas Dynamics of the Lugansk State University named after Vladimir Dahl, Lugansk.

E-mail: sdaa261@yandex.ru

Levashov Artem Nikolayevich, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor at the Department of Fluid and Gas Dynamics of Lugansk State University named after Vladimir Dahl, Lugansk.

E-mail: boschcdi@yandex.ru

Kovalevsky Denis Sergeevich, Postgraduate student at the Department of "Transport Technologies", Lugansk State University named after Vladimir Dahl, Lugansk.

Для цитирования:

Сёмин Д. А., Левашов А. Н., Ковалевский Д. С. Моделирование динамики твердых частиц в вихрекамерном нагнетателе // Вестник Луганского государственного университета имени Владимира Даля. – 2024. – № 11(89). – С. 182-192.

For citation:

Syomin D. A., Levashov A. N., Kovalevsky D. S. Modeling the dynamics of solid particles in a vortex chamber supercharger // Vestnik of Lugansk State University named after Vladimir Dahl. – 2024. – № 11(89). – P. 182-192.

УДК 621.22: 621.694

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ АКУСТИЧЕСКИХ И ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВИХРЕВОЙ ТРУБОПРОВОДНОЙ АРМАТУРЫ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Сёмин Д. А., Тарарычкин И. А., Левашов Я. Н., Михайличенко А. А.

EXPERIMENTAL STUDY OF ACOUSTIC AND HYDRAULIC CHARACTERISTICS OF VORTEX PIPELINE VALVES OF TRANSPORT AND TECHNOLOGICAL SYSTEMS

Syomin D. A., Tararitchkin I. A., Levashov Y. N., Mikhailichenko A. A.

Аннотация. В работе представлены результаты экспериментального исследования акустических и гидравлических характеристик моделей основных типов вихревых клапанов с осевым и радиальным каналами питания. Конструкции модифицированы путем установки на выходе из клапана осевого или радиального диффузоров.

Исследования направлены на установление величины излучаемого вихревыми клапанами аэродинамического шума, выявление его причин, оценку эффективности интенсивных и экстенсивных мер, снижающих уровень акустической нагрузки на производственную и окружающую среду.

Установлены количественные значения параметров, определяющих качества вихревых клапанов, а также закономерности, связывающие акустические и гидравлические характеристики моделей указанных модификаций.

Получены опытные данные, позволяющие оценить эффективность мер экстенсивного и интенсивного характера, направленных на снижение аэродинамического шума исследованных моделей клапанов.

Ключевые слова: вихревой клапан, параметры запираания, коэффициент расхода, осевой диффузор, радиальный диффузор, канал питания, рабочая характеристика, акустическая характеристика, интенсивность шума.

Abstract. The paper presents the results of an experimental study of the acoustic and hydraulic characteristics of models of the main types of vortex valves with axial and radial supply channels. The designs are modified by installing axial or radial diffusers at the outlet of the valve. The research is aimed at establishing the value of aerodynamic noise emitted by vortex valves, identifying its causes, assessing the effectiveness of intensive and extensive measures that reduce the level of acoustic load on the industrial and environmental environment. Quantitative values of parameters that determine the qualities of vortex valves, as well as regularities that connect the acoustic and hydraulic characteristics of the models of these modifications, have been established. Experimental data have been obtained to assess the effectiveness of extensive and intensive measures aimed at reducing aerodynamic noise of the studied valve models.

Key words: vortex valve, locking parameters, flow coefficient, axial diffuser, radial diffuser, power channel, operating characteristic, acoustic characteristic, noise intensity.

Введение. В соответствии с программой социально-экономического развития Луганской Народной Республики (ЛНР) среди стратегических целей и приоритетных задач названы: сохранение и увеличение темпов и объемов угледобывающей отрасли, восстановление предприятий тяжелой и легкой промышленности. Трубопроводные транспортные системы занимают здесь весомое место и работают преимущественно в неблагоприятных условиях эксплуатации. Управление потоками транспортируемых сред в трубопроводных транспортных системах осуществляется трубопроводной арматурой механического действия. Резкие перепады температуры, вибрация, знакопеременные ускорения и ударные нагрузки, повышенная

влажность, запыленность, химическая агрессивность рабочей и окружающей сред, а при транспортировке сыпучих грузов еще и абразивное их воздействие, снижает надежность трубопроводной арматуры, по сравнению с нормальными условиями эксплуатации, в десятки, а в редких случаях в сотни раз. При этом срок ее службы исчисляется одной или несколькими неделями и существенно определяет эффективность трубопроводных транспортных систем, негативно отражаясь на количественных и качественных показателях, а в конечном счете на экономических. Эти обстоятельства определяют актуальность и практическую направленность проведенных исследований, связанных с разработкой и совершенствованием характеристик принципиально

новой трубопроводной арматуры, струйные вихревые регулирующие органы которой не содержат подвижных механических частей, поэтому не чувствительны к перечисленным экстремальным условиям эксплуатации. При этом они обладают наиболее важными качествами струйной техники – более высокой надежностью и долговечностью по сравнению с механической арматурой. Опыт успешной промышленной эксплуатации вихревой арматуры в составе пневматических струйных приводов на углеобогатительных фабриках Донбасса в течение более чем двух десятилетий, подтвердил перспективность направления решения указанной проблемы. Производительность отсадочной машины с площадью рабочего отделения 18 м^2 составляет до 500 т/час. Таким образом за час простоя на подъездных железнодорожных путях скапливается до 500 т груза, что может привести к сбоям в графике работы логистической схемы доставки угля от шахты к потребителю. Вследствие безотказной работы привода отсутствовали вынужденные простои отсадочных машин и связанные с ними выплаты фабрикой штрафов железной дороге. Благодаря стабильной работе струйно-вихревых пульсаторов повысились показатели качества транспортно-технологического процесса разделения перемещаемой горной массы на породу и концентрат – снизились потери концентрата с породной фракцией и уровень породы в концентрате. Вместе с тем, дальнейшие

исследования показали, что рабочие параметры реализованных в приводах пульсаторов на базе вихревых регулирующих органов, могут быть заметно улучшены. При наладке и пуске привода в эксплуатацию, было установлено, что вихревые пульсаторы излучают шум высокого уровня звукового давления, достигающего 110 dB, который неприемлем не только для нормальных условий труда обслуживающего персонала, но и для селитебной территории, и требует снижения шума до установленных санитарных норм. Дополнительные мероприятия экстенсивного характера в виде шумоизоляции элементов привода и установки глушителей шума позволили решить эту задачу на пуско-наладочном этапе. Дальнейшие исследования, проведенные на кафедре «Гидрогазодинамика» ЛГУ им. В. Даля, позволили заметно улучшить гидравлические характеристики вихревых клапанов, однако, интенсивные меры по снижению шума вихревых клапанов остаются на сегодняшний день практически не изученными. Поэтому, совместное исследование рабочих и акустических характеристик вихревых клапанов различных модификаций является актуальной и важной научной задачей, решение которой позволит установить причины и источники шума, разработать мероприятия сведения его к минимуму.

Схемы проточных частей базовых конструкций исследуемых клапанов, условные обозначения геометрических и гидродинамических параметров, приведены на рис. 2.

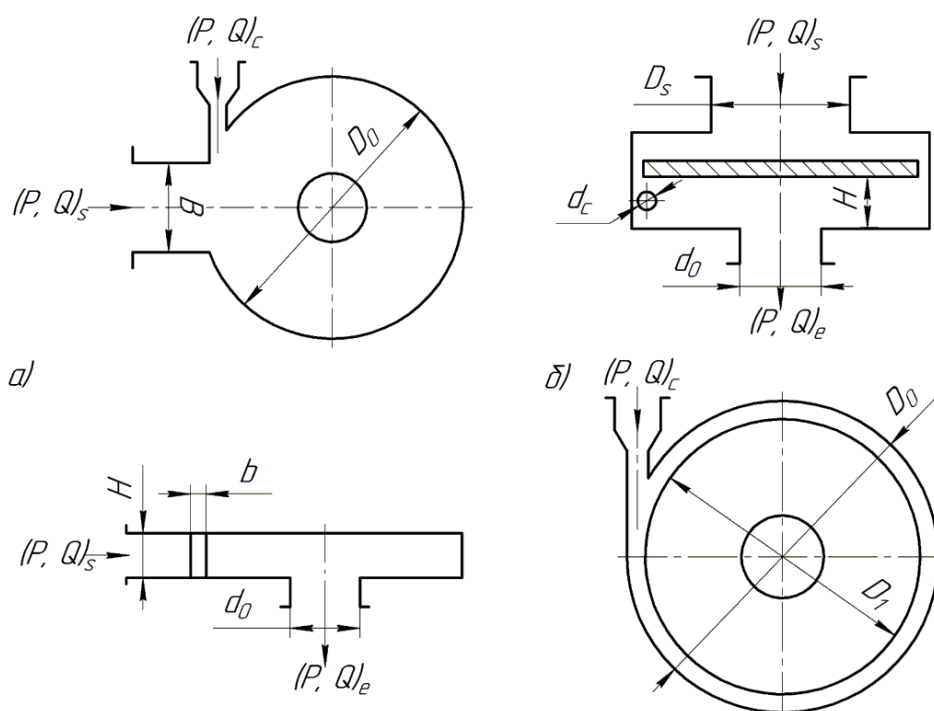


Рис. 1. Схема проточной части вихревых клапанов и их параметры
а) с радиальным каналом питания; б) с осевым каналом питания

Основные геометрические параметры проточной части $D/d_o = 5$; $F_s/f_o = 2.5$; $F_c/f_o = 0.25$ у всех моделей выдержаны одинаковыми. Подсоединяемые к выходному отверстию диффузоры осевой или радиальный, (на схеме не показаны) имели одинаковую степень уширения $n=4$, при угле раскрытия $\alpha_o = 14^\circ$ диффузора осевого типа и

эквивалентный угол раскрытия $\alpha_{eqv} = 21^\circ$ у радиального диффузора.

На рис. 2 представлен внешний вид физических моделей исследованных модификаций вихревых клапанов с осевым (ВК-О) и радиальным (ВК-Р) каналами питания, односторонним выходным каналом в виде конического осевого (ДО) или кольцевого радиального (ДР) диффузора.

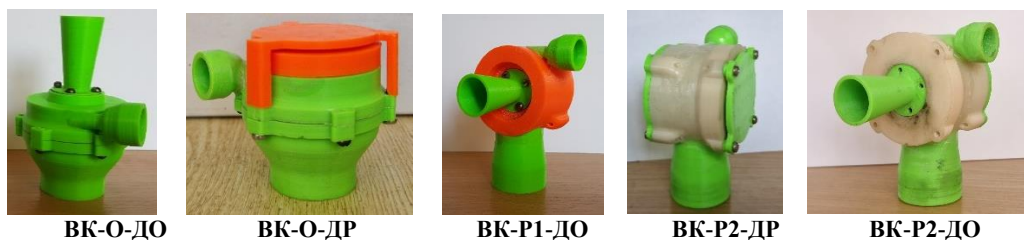


Рис. 2. Внешний вид моделей исследованных модификаций вихревых клапанов

Модели ВК-Р1 и ВК-Р2 отличаются местом расположения цилиндрического стабилизатора, соответственно, на нижней (Р1) или верхней (Р2) стенке вихревой камеры [Питер 2016, Ростов 2016].

Все модели специально изготовлены из одного и того же материала - ABS-пластика, что позволило исключить погрешность, привносимую в результаты материалами с различными акустическими свойствами.

Экспериментальная установка (рис. 3), на которой проводились настоящие исследования, состояла из двух центробежных нагнетателей 1 и 5, суживающих расходомерных устройств коллекторного типа 3 и 7, чашечных микроманометров 2 и 6, пьезометров 4 и 8,

вихревого клапана 9, звукоизолирующих кожухов 10, глушителей шума 11, идущего от нагнетателей, устройства для определения уровня звукового давления 12 (шумомера) и компьютера с микрофоном 13 для записи шумограмм. Для устранения акустических помех, идущих от устройств управления частотой вращения роторов нагнетателей, использовались семисторные регуляторы напряжения вместо трансформаторных, применяемых в предыдущих исследованиях. Кроме того, газоразрядные лампы освещения были заменены на светодиодные. Таким образом, внешний шум был сведен к минимальному с 53 дБ до 32 дБ.

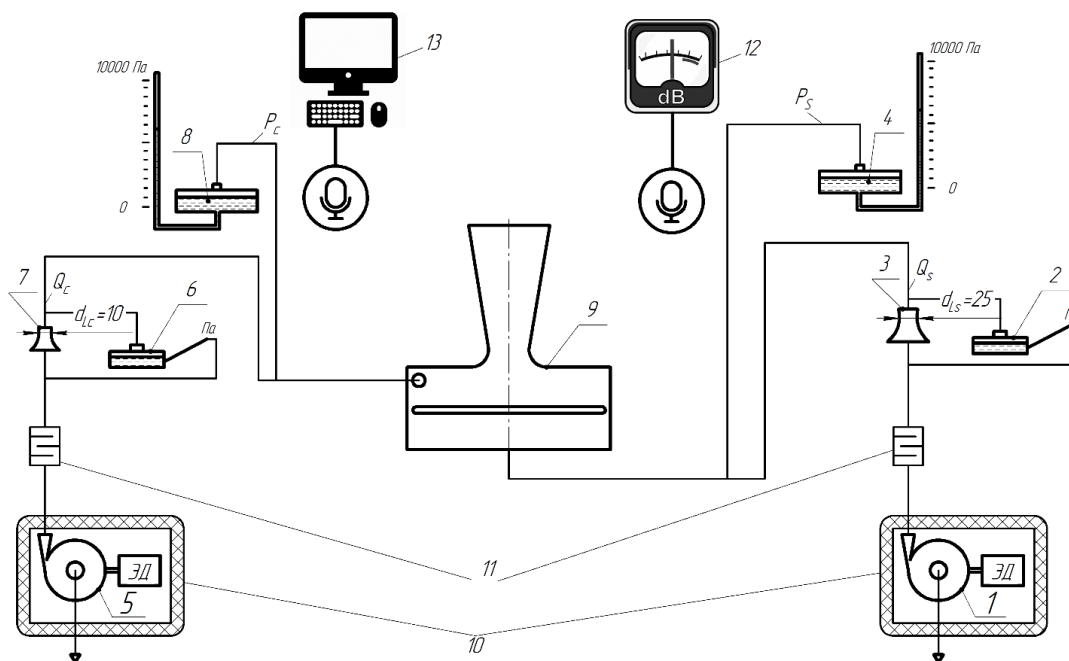


Рис. 3. Схема экспериментальной установки для исследования гидравлических и акустических свойств вихревых клапанов

Воздушный поток от центробежного нагнетателя 1 подводился через суживающее устройство 3 расходомера к каналу питания вихревого клапана. Поток управления подавался от центробежного нагнетателя воздуха 5, через суживающее устройство 7 расходомера, к каналу управления. Давления в каналах питания и управления измерялись пьезометрами 4 и 8, соответственно. Перепады давления на суживающих устройствах измерялись чашечными микроманометрами ММН 2 и 6.

Все опыты проводились при фиксированном уровне давления питания $P_s = 4 \text{ кПа} = \text{const.}$ Давление управления P_c увеличивалось вплоть до полного перекрытия потока питания Q_s через клапан. Каждому значению давления управления ставились в соответствие расходы воздуха через каналы питания и управления Q_c , величина средней интенсивности уровня звука L , а также записывались ее мгновенные значения. Погрешность измерения давлений питания и управления не превышала 10 Па, т.е. составляла величину менее 0,25%. Точность измерения расхода питания была наименьшей вблизи режима записывания клапана, т.е. в конце рабочей характеристики клапана и составляла величину, не превышающую 10% от расхода через открытый клапан. Расход управляющего потока воздуха, наоборот, измерялся с максимальной погрешностью в 10% в начале рабочей характеристики клапана.

Измерение акустических параметров на каждом режиме осуществлялось шумомером Trotec

SL400 (рис.3, поз.12), а его внешний вид и взаимное расположение по отношению к испытуемой модели вихревого клапана показано на рис. 4.

Шумомер Trotec SL400 предназначен для измерения интенсивности I уровня звука $L = 10 \lg I/I_0$ [дБ], с частотными характеристиками A , C в диапазоне частот от 31,5 Гц до 8 кГц. Погрешность измерения шума $\pm 1,4$ дБ.



Рис. 4. Испытуемая модель вихревого клапана ВК-Р2-ДО и шумомер Trotec SL400 на экспериментальном стенде

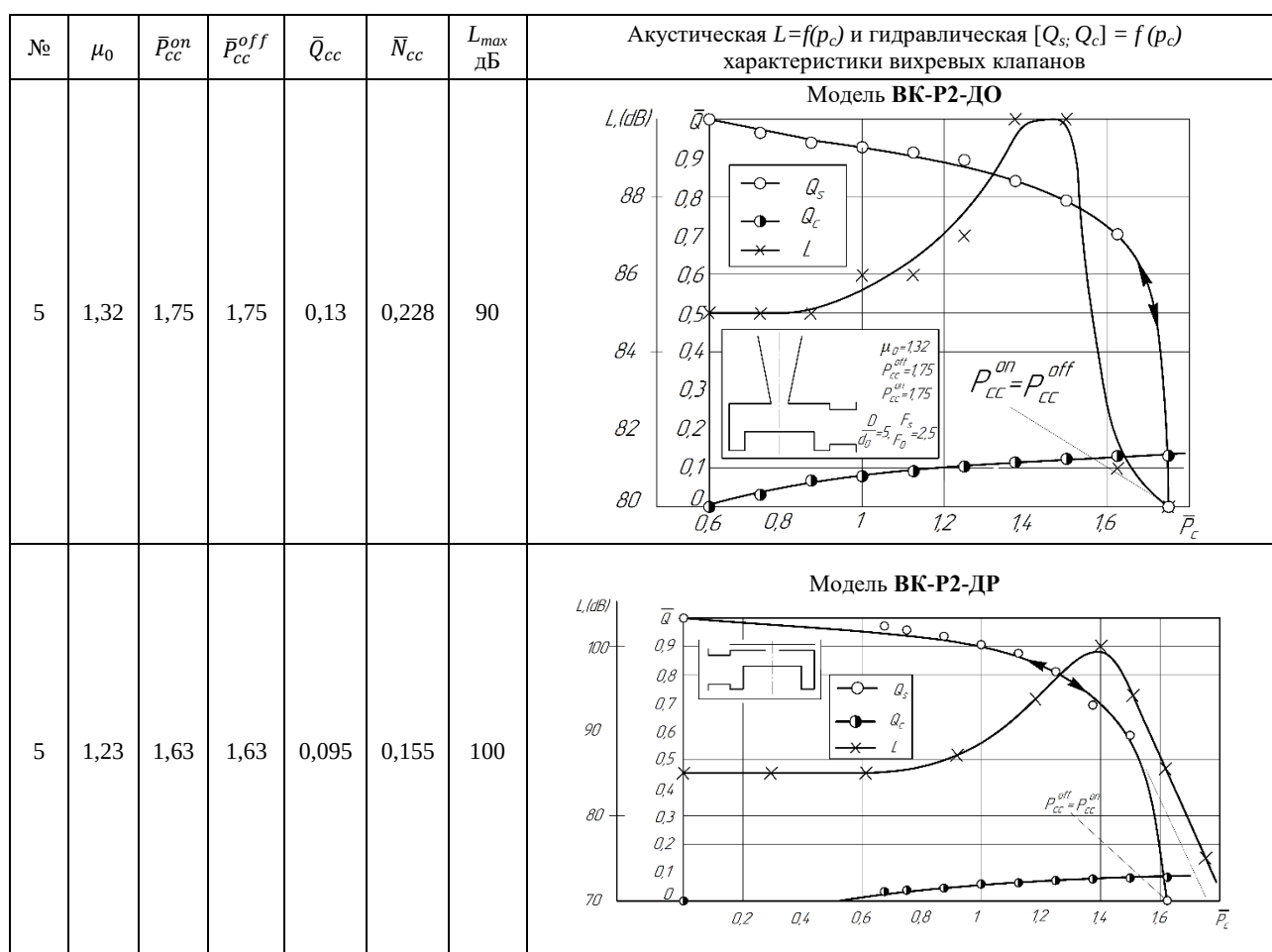
По результатам испытаний определены основные гидравлические и акустические параметры, характеризующие качество исследуемых моделей вихревых клапанов, а также акустические $L=f(p_c)$ и гидравлические $[Q_s; Q_c] = f(p_c)$ характеристики, сведенные в табл. 1.

Таблица 1

Основные параметры, гидравлические и акустические характеристики моделей вихревых клапанов

№	μ_0	$\bar{P}_{cc}^{on}$	$\bar{P}_{cc}^{off}$	$\bar{Q}_{cc}$	$\bar{N}_{cc}$	L_{max} дБ	Акустическая $L=f(p_c)$ и гидравлическая $[Q_s; Q_c] = f(p_c)$ характеристики вихревых клапанов
1	0,96	1,85	1,95	0,11	0,215	94	Модель ВК-О

№	μ_0	$\bar{P}_{cc}^{on}$	$\bar{P}_{cc}^{off}$	$\bar{Q}_{cc}$	$\bar{N}_{cc}$	L_{max} дБ	Акустическая $L=f(p_c)$ и гидравлическая $[Q_s; Q_c] = f(p_c)$ характеристики вихревых клапанов
3	1,47	2,00	1,87	0,08	0,16	91	Модель ВК-О-ДО
2	1,4	2,0	2,0	0,14	0,28	100	Модель ВК-О-ДР
4.1	0,94	1,65	1,65	0,1	0,165	99	Модель ВК-Р1
4.2	0,94	1,7	1,7	0,1	0,17	92	Модель ВК-Р2



Из рисунков табл. 1 следует, что шум, излучаемый исследованными моделями вихревых клапанов независимо от их типа и модификации нарастает по мере увеличения давления управления $\bar{P}_c$ и достигает своего максимального значения L_{max} перед режимом записания. При дальнейшем увеличении давления управления до величины

давления записания $\bar{P}_{cc}$, уровень шума существенно снижается.

По результатам испытаний, сведенных в табл. 2, определена эффективность интенсивного и экстенсивного методов снижения шума для каждой из исследуемых моделей клапанов.

Таблица 2

Основные акустические параметры исследованных моделей вихревых клапанов

№	Тип и обозначение модификации вихревого клапана	Максимальная интенсивность L_{max} , дБ			Интенсивность L , дБ	
		Интенсивный метод (стержень) (ΔL_{max})	Экстенсивный метод (глушитель) (ΔL_{max})	Без ГШ	«ВКоткрыт»	«ВК зарыт»
1	ВК-О	90(4,0)	82(12,0)	94	78	85
2	ВК-О-ДО	86 (6,4)	74(14,5)	89	84	74(min)
3	ВК-О-ДР	97(3,0)	86(14,0)	100(max)	83,5	82
4.1	ВК-Р1	90(9,0)	91(8,0)	99	87	88(max)
4.2	ВК-Р2	87(4,0)	84(8,0)	92	75	84
5	ВК-Р2-ДО	86 (4,0)	70(20,0)	90(min)	85,5	80
6	ВК-Р2-ДР	95(5,0)	93(7,0)	100(max)	86	77

В табл. 2 жирным шрифтом без наклона выделены режимы с максимальным значением интенсивности шума и максимальным значением величины его снижения $\Delta L_{max} = L_{max} - L_{ши}$. Жирным шрифтом с наклоном обозначены минимальные

значения интенсивности шума и величины его снижения рассмотренными методами.

Анализ результатов испытаний, приведенных в табл. 1 и 2, позволяет сделать следующие выводы.

Интенсивность шума, излучаемого исследованными модификациями вихревых

клапанов без его гасителей, находится в диапазоне 90-100 дБ.

Во всех модификациях наличие осевого диффузора на выходе из вихревого клапана приводит к снижению интенсивности шума.

Модификации вихревых клапанов, содержащих в конструкции радиальный диффузор, излучают максимальный шум, интенсивность которого достигает 100 дБ.

Эффективность интенсивного метода снижения шума (стержнем) во всех модификациях не превышает 6 дБ, за исключением модели ВК-Р1, у которой интенсивный метод гашения шума дает наилучший результат - $\Delta L_{max}=9$ дБ.

Экстенсивный метод в виде цилиндрического глушителя со звукопоглощающим материалом, более эффективен и приводит к снижению шума на 10 дБ - 20 дБ.

Частотный анализ звуковых колебаний осуществлялся на основе осциллограмм мгновенных значений звукового давления $A(t)$ - шумограмм, запись которых производилась совместно с определением гидравлической характеристики клапана. В качестве чувствительного элемента звукового давления использовался микрофон (см. рисунок 2, позиция 13) с линейной характеристикой в диапазоне частот от 50 Гц до 10 кГц, подключенный посредством линейного входа к компьютеру.

Шумограммы исследованных модификаций вихревых клапанов в режимах работы, при которых шум достигает максимальной интенсивности и результаты его снижения интенсивными или экстенсивными методами, представлены ниже на рисунках.

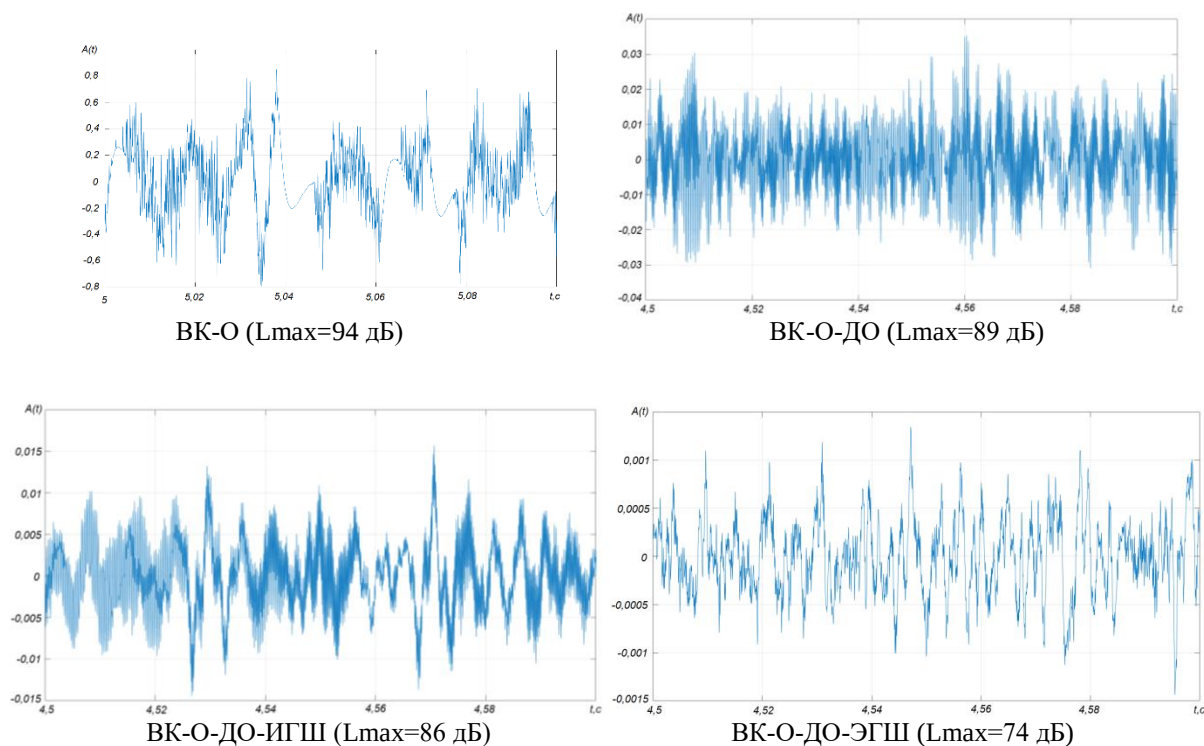


Рис. 5. Шумограммы ВК-О и его модификации ВК-О-ДО с осевым диффузором с интенсивным (ИГШ) и экстенсивным (ЭГШ) гасителем шума при максимальной интенсивности звука клапана $L_{max}=94$ дБ.

Частотный анализ шумограмм для всех модификаций вихревого клапана проводился с использованием дискретного преобразования Фурье. Ниже, на рис. 6-10 представлены шумограммы и соответствующие им графики

зависимости амплитуды звукового давления от частоты для остальных исследованных моделей модификаций вихревых клапанов ВК-О и ВК-Р (табл. 2).

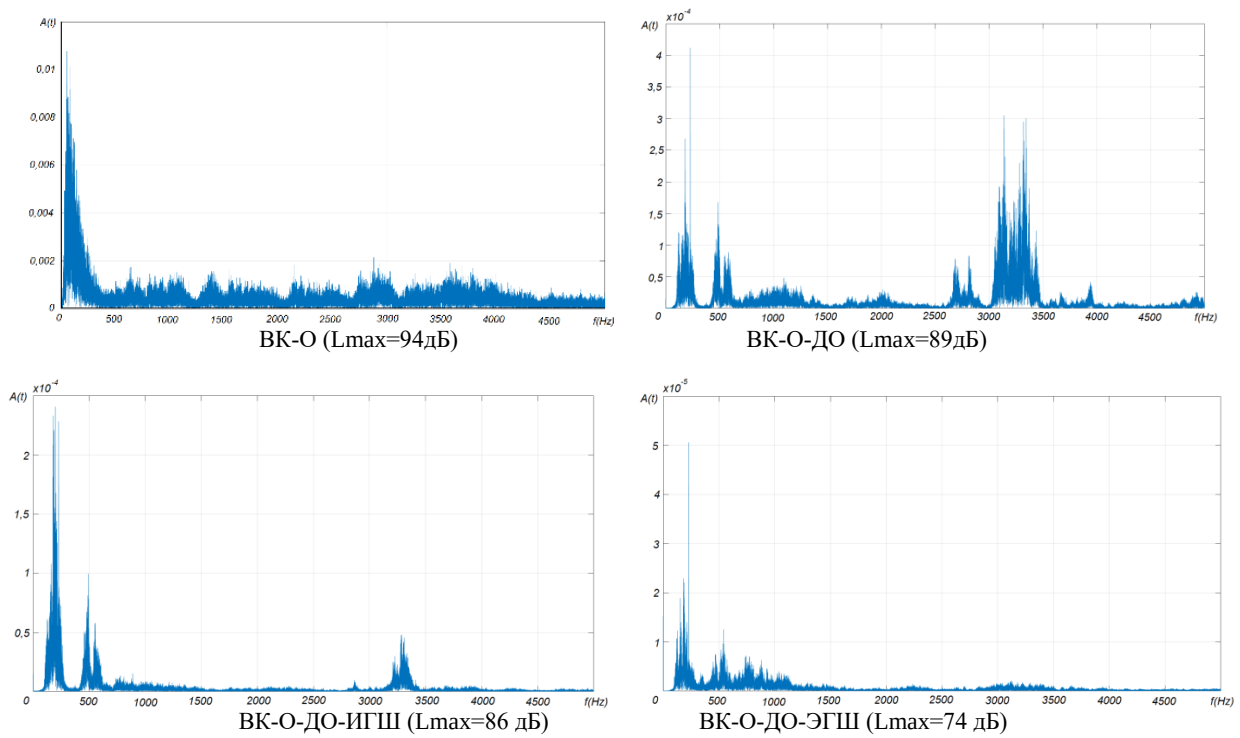


Рис. 6. Графики спектральной плотности звукового давления ВК-О и его модификации ВК-О-ДО, с интенсивным (ИГШ) и экстенсивным (ЭГШ) гасителями шума, в режиме его максимальной интенсивности

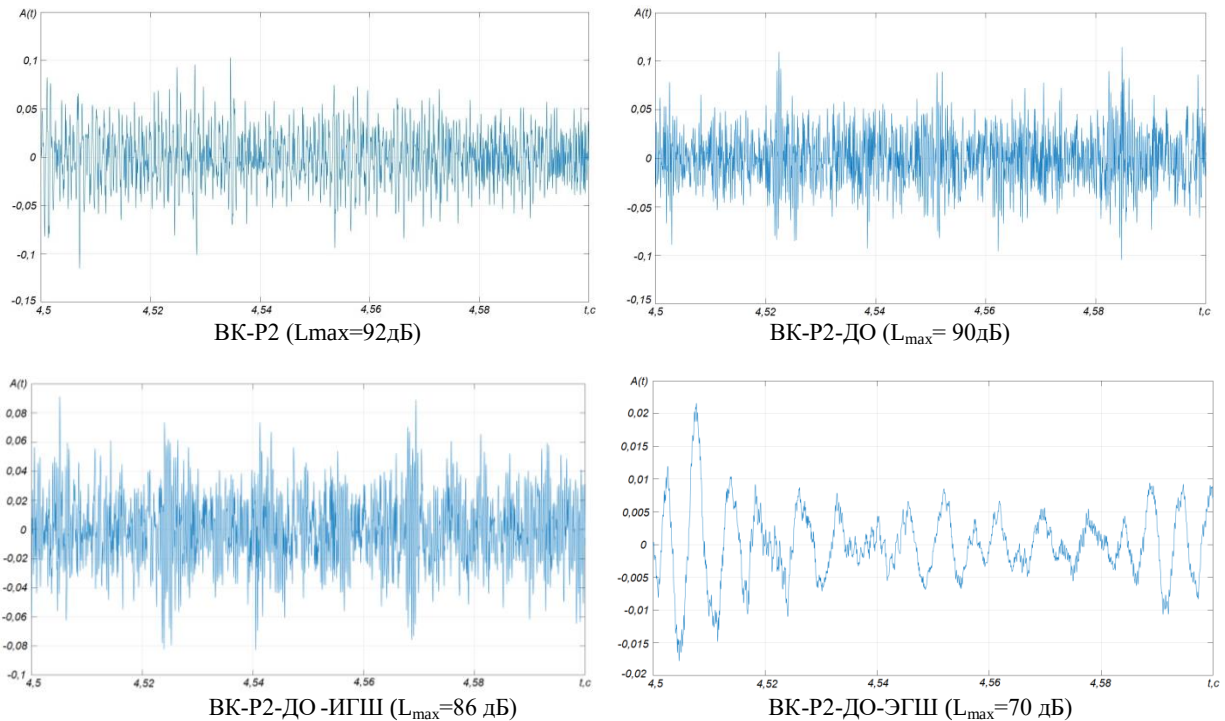


Рис. 7. Шумограммы ВК-Р2 и его модификации ВК-Р2-ДО с осевым диффузором с интенсивным (ИГШ) и экстенсивным (ЭГШ) гасителями шума при максимальной интенсивности звука клапана $L_{\max}=90\text{ дБ}$

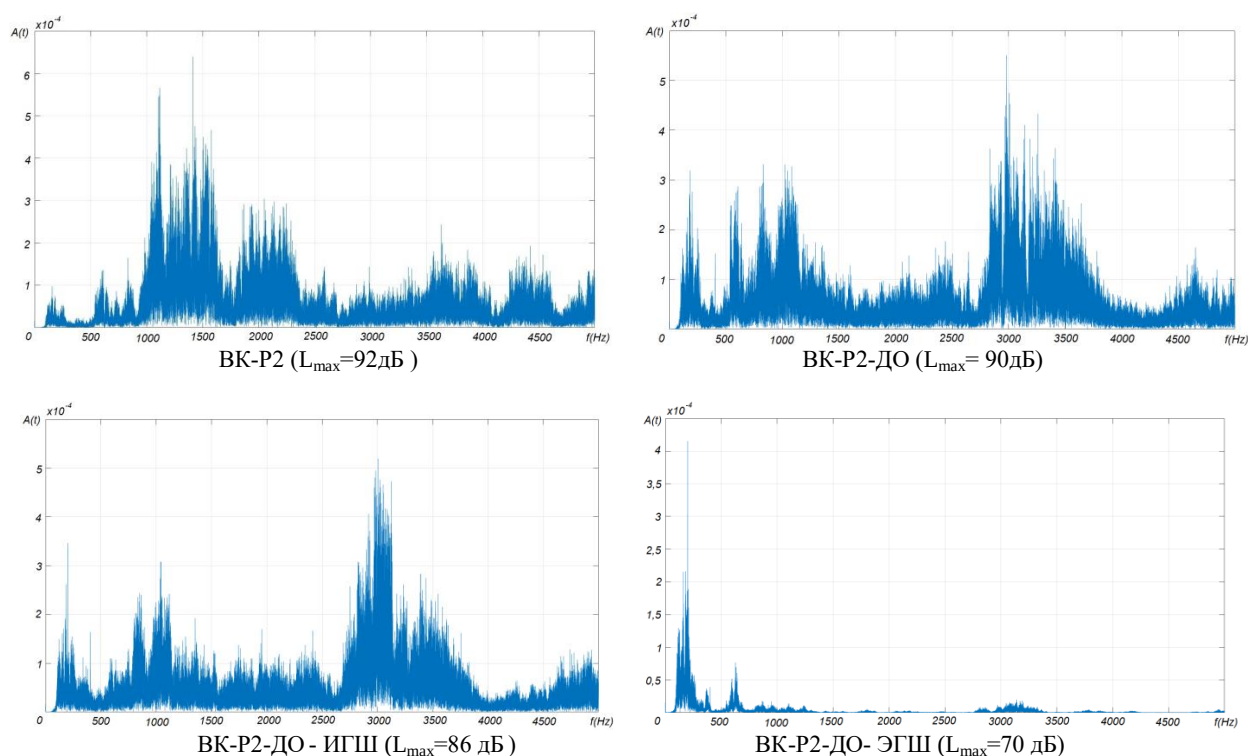


Рис. 8. Графики спектральной плотности звукового давления ВК-Р2 и его модификации ВК-Р2-ДО, с интенсивным (ИГШ) и экстенсивным (ЭГШ) гасителями шума, в режиме его максимальной интенсивности

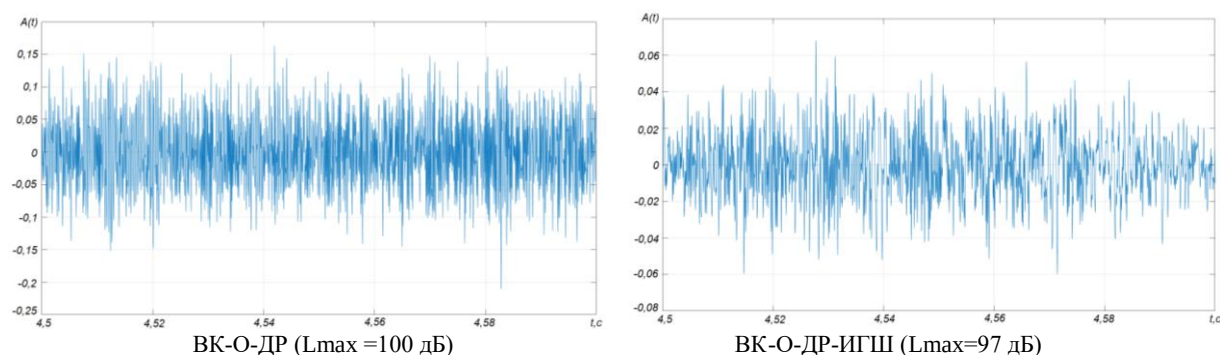


Рис. 9. Шумограммы ВК-Р2 и его модификации ВК-Р2-ДО с радиальным диффузором, интенсивным (ИГШ) и экстенсивным (ЭГШ) гасителями шума при максимальной интенсивности звука клапана $L_{max}=100$ дБ

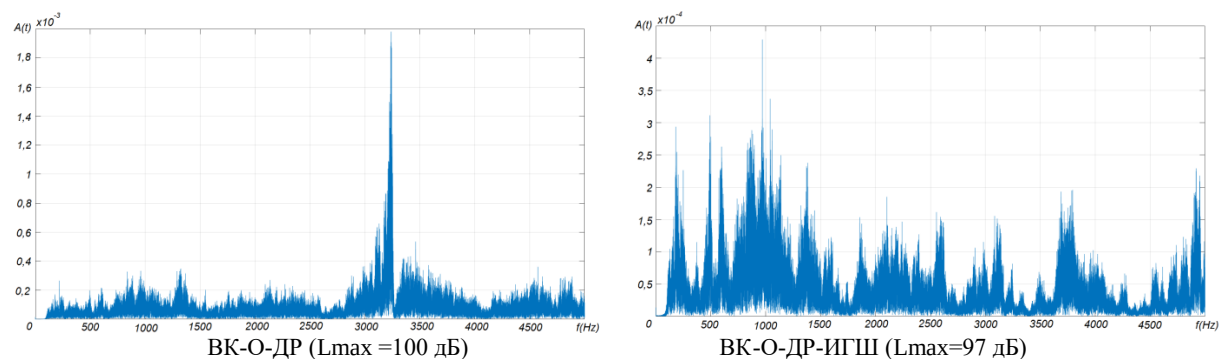


Рис. 10. Графики спектральной плотности звукового давления ВК-О ДР и его модификации ВК-О-ДР-ИГШ, с интенсивным (ИГШ) гасителями шума, в режиме его максимальной интенсивности

Как видно из приведенных выше рисунков, для модификаций вихревого клапана с радиальным каналом питания амплитудные пики распределены по всему диапазону $f = (0 - 5)$ kHz, в отличие от вихревого клапана с осевым каналом питания, у которого амплитудный пик соответствует частоте близкой к $f=100$ Hz.

Выводы. Закономерности уровней шума, производимого вихревыми клапанами всех исследованных модификаций, имеют сходный характер, т.е. интенсивность звукового давления увеличивается с ростом давления управления и достигает максимума перед моментом закрытия. При дальнейшем увеличении давления управления до уровня давления запирания $\bar{P}_{cc}$ интенсивность шума снижается до уровня звукового давления закрытого вихревого клапана.

Интенсивность шума, излучаемого исследованными модификациями вихревых клапанов без его гасителей, находится в диапазоне 90-100 дБ.

Во всех модификациях наличие осевого диффузора на выходе из вихревого клапана приводит к снижению интенсивности шума.

Модификации вихревых клапанов, содержащих в конструкции радиальный диффузор, излучают максимальный шум, интенсивность которого достигает 100 дБ.

Эффективность интенсивного метода снижения шума (стержнем) во всех модификациях не превышает 6 дБ, за исключением модели ВК-Р1, у которой интенсивный метод гашения шума дает наилучший результат – $\Delta L_{max}=9$ дБ.

Экстенсивный метод в виде цилиндрического глушителя со звукопоглощающим материалом, более эффективен и приводит к снижению шума на 10 дБ - 20 дБ.

Для снижения шума, излучаемого вихревыми клапанами, необходимо использовать оба метода – интенсивного и экстенсивного подавления шума. При этом необходимы меры воздействия на физический процесс течения в клапане, приводя его от нестационарного (или квазистационарного) к стационарному и предотвращать распространение шума как через каналы питания, управления и выхода из клапана, так и через поверхность его корпуса.

Список источников

1. Блинова, Л. П. Акустические измерения: моногр. / Л.П. Блинова, А.Е. Колесников, Л.Б. Ланганс. - М.: Государственное издательство стандартов, 2022. - 272 с
2. Гензель, Г. Основы акустики / Г. Гензель, А. Заездный. - М.: Морской транспорт, 2019. - 388 с.
3. Иванов Н. И. Инженерная акустика. Теория и практика борьбы с шумом / Н.И. Иванов. - М.: Логос, 2018. - 454 с.
4. Исакович, М. А. Общая акустика / М.А. Исакович. - М.: Главная редакция физико-

математической литературы издательства "Наука", 2018. - 496 с.

5. Левашов Я.Н. Повышение эффективности трубопроводных транспортных систем снижением энергозатрат на управление вихревой арматурой. Дисс. канд. техн. наук. Луганск, 2022, 150 с.

6. Сёмин Д.А. Разработка и совершенствование характеристик крупномасштабных вихревых клапанов. Дисс. канд. техн. наук. Луганск, 1992. 203 с.

7. Сёмин Д.А., Левашов Я.Н., Левашов А.Н., Михайличенко А.А. Оценка эффективности работы модернизированного вихревого пульсатора в пневматических приводах гидравлических отсадочных машин. Вестник ЛГУ им. В. Даля, 2021 №11(53). – С. 107-113

8. Сёмин Д. А., Нечаев Г. И., Левашов Я. Н., Михайличенко А. А. Исследование взаимосвязи гидродинамических и акустических характеристик вихревой трубопроводной арматуры транспортных систем. Вестник ЛГУ им. В. Даля, 2023. №11. С. 75-80.

9. Сьомін Д.О. Вихрові виконавчі пристрої: В 2-х частинах. Ч.1. Однорідні робочі середовища: монографія. / Сьомін Д.О., Павлюченко В.О., Мальцев Я.І., Войцеховський С.В., Роговий А.С., Дмитрієнко Д.В., Мальцева М.О. - Луганськ: вид-во СЛУ ім. В.Даля, 2009. – 284 с.

10. Сьомін Д.О. Вихрові виконавчі пристрої: В 2-х частинах. Ч.2. Гетерогенні робочі середовища: монографія. / Сьомін Д.О., Павлюченко В.О., Мальцев Я.І., Войцеховський С.В., Роговий А.С., Дмитрієнко Д.В., Мальцева М.О. - Луганськ: вид-во СЛУ ім. В.Даля, 2010. – 190 с.

11. Юдин Е.Я. Борьба с шумом на производстве. Справочник /Е.Я. Юдин и др. Под общ ред. Е.Я. Юдина – М. Машиностроение, 1985. – 400 с.

References

1. Blinova, L. P. Acoustic measurements: monograph / L. P. Blinova, A. E. Kolesnikov, L. B. Langans. - M.: State Publishing House of Standards, 2022. - 272 p.
2. Gensel, G. Basics of acoustics / G. Gensel, A. Zaezdny. - M.: Sea transport, 2019. - 388 p.
3. Ivanov, N. I. Engineering acoustics. Theory and practice of noise control / N. I. Ivanov. - M.: Logos, 2018. - 454 p.
4. Isakovich, M. A. General acoustics / M. A. Isakovich. - M.: Main editorial office of physical and mathematical literature of the Nauka publishing house, 2018. - 496 p.
5. Levashov, Ya. N. Improving the efficiency of pipeline transport systems by reducing energy costs for controlling vortex valves. Diss. Cand. Sci. (Eng.). Lugansk, 2022, 150 p.
6. Semin D. A. Development and improvement of the characteristics of large-scale vortex valves. Diss. Cand. Sci. (Eng.). Lugansk, 1992. 203 p.

7. Semin D. A., Levashov Ya. N., Levashov A. N., Mikhailichenko A. A. Evaluation of the efficiency of a modernized vortex pulsator in pneumatic drives of hydraulic jiggling machines. Bulletin of Leningrad State University named after V. Dahl, 2021, No. 11 (53). – pp. 107-113

8. Semin D. A., Nechaev G. I., Levashov Ya. N., Mikhailichenko A. A. Study of the relationship between hydrodynamic and acoustic characteristics of vortex pipeline fittings of transport systems. Vestnik Leningrad State University named after V. Dahl, 2023. No. 11. pp. 75-80.

9. Syomin D.O. Whirlwind wagon extensions: In 2 parts. Part 1. Single work environments: monograph. / Syomin D.O., Pavlyuchenko V.O., Maltsev Ya.I.,

Voitsekhovsky S.V., Rogoviy A.S., Dmitrienko D.V., Maltseva M.O. - Lugansk: view of SNU im. V. Dalia, 2009. – 284 p.

10. Syomin D.O. Whirlwind wagon extensions: In 2 parts. Part 2. Heterogeneous work environment: monograph. / Syomin D.O., Pavlyuchenko V.O., Maltsev Ya.I., Voitsekhovsky S.V., Rogoviy A.S., Dmitrienko D.V., Maltseva M.O. - Lugansk: view of SNU im. V. Dalia, 2010. – 190 p.

11. Yudin E.Ya. Fighting noise at work. Directory /E.Ya. Yudin et al. Under the general editorship of E. Ya. Yudin – M. Mechanical Engineering, 1985. – 400 p.

Статья поступила в редакцию 18.11.2024

Информация об авторах

Сёмин Дмитрий Александрович, д.т.н., профессор кафедры «Гидрогазодинамика» Луганского государственного университета имени Владимира Даля, г. Луганск.
E-mail: sdaa261@yandex.ru

Тарарычкин Игорь Александрович, д.т.н., профессор кафедры транспортных технологий Луганского государственного университета имени Владимира Даля, г. Луганск.

Левашов Ярослав Николаевич, доцент кафедры «Гидрогазодинамика» Луганского государственного университета имени Владимира Даля, г. Луганск.
E-mail: xpioneerx@mail.ru

Михайличенко Алиса Антоновна аспирант кафедры «Транспортные технологии» Луганского государственного университета имени Владимира Даля, г. Луганск.

Information about the authors

Syomin Dmitry Alexandrovich, Doctor of Technical Sciences Professor of the Department of Fluid and Gas Dynamics of the Lugansk State University named after Vladimir Dahl, Lugansk.
E-mail: sdaa261@yandex.ru

Tararitchkin Igor Alexandrovich, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Transport Technologies Lugansk State University named after Vladimir Dahl, Lugansk.

Levashov Yaroslav Nikolayevich, Associate Professor of the Department of Fluid and Gas Dynamics of the Lugansk State University named after Vladimir Dahl, Lugansk.
E-mail: xpioneerx@mail.ru

Mikhailichenko Alisa Antonovna postgraduate student of the Department of Transport Technologies of the Lugansk State University named after Vladimir Dahl, Lugansk.

Для цитирования:

Сёмин Д. А., Тарарычкин И. А., Левашов Я. Н., Михайличенко А. А. Экспериментальное исследование акустических и гидравлических характеристик вихревой трубопроводной арматуры транспортно-технологических систем // Вестник Луганского государственного университета имени Владимира Даля. – 2024. – № 11(89). – С. 193-203.

For citation:

Syomin D. A., Tararitchkin I. A., Levashov Y. N., Mikhailichenko A. A. Experimental study of acoustic and hydraulic characteristics of vortex pipeline valves of transport and technological systems // Vestnik of Lugansk State University named after Vladimir Dahl. – 2024. – № 11(89). – P. 193-203.

**ВЕСТНИК ЛУГАНСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА
имени ВЛАДИМИРА ДАЛЯ»
№ 11 (89) 2024**

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

Лит.редактор	<i>Минина Я.В. Рудник Ю.В. Паталахина Е.А.</i>
Тех.редактор	<i>Коломиец-Кириллова Е.А.</i>
Оригинал-макет	<i>Гончарова М.В.</i>

Подписано в печати 2.07.2025.
Формат 60х84/8. Бумага офсетная. Гарнитура Times
Условных печатных стр. 36,13. Тираж 100 экз. Изд. № 01524.

ИЗДАТЕЛЬСТВО
Луганского государственного университета
имени Владимира Даля

Адрес издательства: 291034, г. Луганск, кв. Молодежный, 20, а.
Тел.: 7(959) 138-34-80
E-mail: izdat.lguv.dal@gmail.com