

# **В Е С Т Н И К**

**ЛУГАНСКОГО  
ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА  
имени ВЛАДИМИРА ДАЛЯ**

**№ 12 (90)  
2024**

**НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ**

**Луганск 2024**

# ВЕСТНИК

ЛУГАНСКОГО  
ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА  
ИМЕНИ ВЛАДИМИРА ДАЛЯ

**№ 12 (90) 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

**№ 12 (90) 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,  
Тарарычкін І.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.)

Материалы номера печатаются на языке оригинала.

---

**С О Д Е Р Ж А Н И Е**

|                                                                                                                                                                   |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| РАСЧЕТ РЕГУЛИРОВОЧНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ СИСТЕМ С<br>ВИХРЕВЫМИ УСТРОЙСТВАМИ<br>Андрійчук В.Н., Пилавов М.В., Андрійчук Н.Д.-----                        | 7  |
| УСЛОВИЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ АРМИРОВАННЫХ<br>ОТКОСОВ НАСЫПЕЙ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ<br>Бегей А. А., Рябинина М. М.-----                                          | 15 |
| СОВРЕМЕННЫЕ СПОСОБЫ ЯМОЧНОГО РЕМОНТА<br>АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ ПОКРЫТИЙ<br>Бизирка И. И. -----                                                                          | 18 |
| ЭФФЕКТИВНОЕ РЕШЕНИЕ ЖИЛИЩНОЙ ПРОБЛЕМЫ ЛУГАНСКОЙ НАРОДНОЙ<br>РЕСПУБЛИКИ ЗА СЧЕТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МОДУЛЬНОБЛОЧНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА<br>Бизирка И. И., Гудкова Е. А. ----- | 22 |
| О ВОЗМОЖНОСТИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ БЕТОНОВ<br>Гудкова Е. А., Хвортова М. Ю., Бизирка И. И. -----                                               | 26 |
| РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОЦЕССОВ<br>ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ БЕТОНОВ<br>Гудкова Е. А. -----                                                               | 30 |
| ХАРАКТЕРИСТИКА СТРУКТУРЫ БИТУМОПОЛИМЕРСЕРНЫХ ВЯЖУЩИХ<br>С УЧЕТОМ КЛИМАТИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ РЕГИОНА<br>Коваленко А. В. -----                                      | 34 |
| АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ<br>ПРОЦЕССАМИ ТЕПЛОГАЗОСНАБЖЕНИЯ В РОССИИ<br>Конец К. К., Конец Ю. В.-----                                 | 40 |
| ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПИРОЛИЗНОГО ГАЗА В ТЕПЛОГЕНЕРИРУЮЩИХ<br>УСТАНОВКАХ ДЛЯ ОБОГРЕВА И ПОЛУЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ<br>Конец Ю. В., Конец К. К.-----                         | 43 |
| ТЕПЛОВИЗИОННОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ<br>Малыгина О. А., Пилавов М. В., Засько В. В. -----                                                              | 46 |
| 3D-МОДЕЛИРОВАНИЕ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ<br>Мордвина Ю. В., Гапонов А. В.-----                                                                                            | 51 |
| АДАПТИВНАЯ АРХИТЕКТУРА ПОВТОРНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ<br>Назарова А. М., Межерицкий С. И., Лукьянова Т. И. -----                                                        | 55 |
| АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ НАСТРОЙКИ РЕГУЛИРОВКИ ДАВЛЕНИЯ<br>В ГАЗОРЕГУЛЯТОРНЫХ ПУНКТАХ<br>Письменная С. А. -----                                                       | 59 |
| УСТРОЙСТВО ТОНКИХ ТЕПЛОЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ<br>НАРУЖНЫХ СТЕН ПРИ ТЕКУЩЕМ РЕМОНТЕ<br>Ратушная Е. В., Никифорова И. П., Засько В. В. -----                             | 64 |

|                                                                                                                                                                                                                       |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ СИСТЕМ ВОДОПОДГОТОВКИ ДЛЯ ТЕПЛОГЕНЕРИРУЮЩИХ УСТАНОВОК<br>Ремень В. И., Шевцова Т. Е. -----                                                                                                      | 67  |
| ОСНОВЫ СИСТЕМЫ РАЗРАБОТКИ И ВНЕДРЕНИЯ РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ОБСЛУЖИВАНИИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ<br>Рябинина М. М., Берег А. А. -----                                                                         | 73  |
| МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ КОМБИНИРОВАННОЙ ОТОПИТЕЛЬНО-ВЕНТИЛЯЦИОННОЙ СИСТЕМЫ КАК ОБЪЕКТА АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ<br>Соколов В. И., Черникова И. Д., Салуквадзе Г. В. -----                                             | 78  |
| ИДЕНТИФИКАЦИЯ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ РАБОЧИХ ПРОЦЕССОВ ОТОПИТЕЛЬНО-ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ СИСТЕМ<br>Соколов В. И., Черникова И. Д., Салуквадзе Г. В. -----                                                                    | 87  |
| ПРИНЦИПЫ КОМПОНОВКИ СЕЧЕНИЙ СЖАТЫХ ЭЛЕМЕНТОВ С УЧЕТОМ НАЛИЧИЯ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ<br>Хвортова М. Ю. -----                                                                                                           | 95  |
| ВЛИЯНИЕ НА ФОТОЭМИССИЮ ИЗ АРСЕНИДА ГАЛЛИЯ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В ИНФРАКРАСНОЙ ОБЛАСТИ СПЕКТРА<br>Черников Н. Г., Черникова И. Д., Черникова Е. Н. -----                                                          | 98  |
| СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ СИСТЕМ ПРИМЕНЕНИЕМ МРС-РЕГУЛЯТОРА<br>Черникова И. Д., Андрийчук В. Н., Андрийчук Н. Д. -----                                                                                         | 104 |
| ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СТРУЙНОГО АВТОГЕНЕРАТОРА НА ЭФФЕКТЕ КОАНДА ДЛЯ РАСЧЕТА ПРИБОРНОЙ СКОРОСТИ МАЛОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА<br>Малахова В. В., Малахов О. В., Малахова Я. О. -----                                           | 113 |
| УРОВЕНЬ СФОРМИРОВАННОСТИ ОРГАНИЗАЦИОННО-УПРАВЛЕНЧЕСКОЙ КОМПЕТЕНЦИИ У СТУДЕНТОВ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ<br>Димитриев А.С. -----                                                                   | 117 |
| ИССЛЕДОВАНИЕ ЦЕННОСТНЫХ ОРИЕНТАЦИЙ СТУДЕНТОВ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ СРЕДНЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ ПУТЕМ АКСИОЛОГИЧЕСКОГО ПОДХОДА КАК МЕТОДА ПЕРСПЕКТИВНОЙ СТРАТЕГИИ ВОСПИТАНИЯ<br>Димитриева О.А. ----- | 121 |
| ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЗАЩИТЫ АКТИВНОЙ ЧАСТИ ПОДСИСТЕМ СЕПАРАЦИИ, ИНТЕГРИРОВАННЫХ В СИСТЕМУ НЕПРЕРЫВНОГО ТРАНСПОРТА ГИБКОЦЕПНЫМИ ПОЛИМЕРАМИ<br>Парсентьев О. С. -----                                                            | 128 |

## CONTENTS

|                                                                                                                                                            |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| CALCULATION OF REGULATION CHARACTERISTICS FOR VENTILATION SYSTEMS WITH VORTEX DEVICES<br><b>Andriichuk V.N., Pilavov M.V., Andriichuk N.D.</b> -----       | 7  |
| CONDITIONS FOR ENSURING THE STABILITY OF REINFORCED SLOPES OF EMBANKMENTS OF HIGHWAYS<br><b>Begei A. A., Ryabinina M. M.</b> -----                         | 15 |
| MODERN METHODS OF POTHOLE REPAIR OF ASPHALT CONCRETE PAVEMENTS<br><b>Bizirka I. I.</b> -----                                                               | 18 |
| MODERN METHODS OF POTHOLE REPAIR OF ASPHALT-CONCRETE PAVEMENTS<br><b>Bizirka I. I., Gudkova E. A.</b> -----                                                | 22 |
| ON THE POSSIBILITY OF FORECASTING CONCRETE LEACHING PROCESSES<br><b>Gudkova E. A., Khvortova M. Yu., Bizirka I. I.</b> -----                               | 26 |
| RESULTS OF EXPERIMENTAL STUDIES OF CONCRETE LEACHING PROCESSES<br><b>Gudkova E. A.</b> -----                                                               | 30 |
| CHARACTERISTICS OF THE STRUCTURE OF BITUMEN POLYMER BINDERS TAKING INTO ACCOUNT THE CLIMATIC CHARACTERISTICS OF THE REGION<br><b>Kovalenko A. V.</b> ----- | 34 |
| AUTOMATED CONTROL SYSTEMS FOR TECHNOLOGICAL PROCESSES OF HEAT AND GAS SUPPLY IN RUSSIA<br><b>Kopets K. K., Kopets I. V.</b> -----                          | 40 |
| THE USE OF PYROLYSIS GAS IN HEAT GENERATING PLANTS FOR HEATING AND GENERATING ELECTRICITY<br><b>Kopets I. V., Kopets K. K.</b> -----                       | 43 |
| THERMAL IMAGING INSPECTION OF BUILDINGS AND STRUCTURES<br><b>Maligina O. A., Pilavov M. V., Zasko V. V.</b> -----                                          | 46 |
| 3D MODELING IN CONSTRUCTION<br><b>Mordvina Yu. V., Gaponov A. V.</b> -----                                                                                 | 51 |
| ADAPTIVE REUSE ARCHITECTURE<br><b>Nazarova A. M., Mezheritsky S. I., Lukyanova T. I.</b> -----                                                             | 55 |
| GAS DISTRIBUTION STATION PRESSURE ADJUSTMENT EFFICIENCY ANALYSIS<br><b>Pismennaia S. A.</b> -----                                                          | 59 |
| DEVICE OF THIN HEAT PROTECTIVE COATINGS EXTERIOR WALLS IN CURRENT REPAIR<br><b>Ratushnaya E.V., Nikiforova I.P., Zasko V.V.</b> -----                      | 64 |
| THE CURRENT STATE OF WATER TREATMENT SYSTEMS FOR HEAT GENERATING PLANTS<br><b>Remen V. I., Shevtsova T. E.</b> -----                                       | 67 |

FUNDAMENTALS OF THE SYSTEM FOR THE DEVELOPMENT AND  
IMPLEMENTATION OF RESOURCE-SAVING TECHNOLOGIES IN THE  
MAINTENANCE OF HIGHWAYS

**Ryabinina M. M., Begej A. A.** ----- 73

MATHEMATICAL MODEL OF COMBINED HEATING-VENTILATING SYSTEM  
AS OBJECT OF AUTOMATIC CONTROL

**Sokolov V. I., Chernikova I. D., Salukvadze G. V.** ----- 78

IDENTIFICATION OF MATHEMATICAL MODELS FOR WORK PROCESSES  
OF HEATING-VENTILATING SYSTEMS

**Sokolov V. I., Chernikova I. D., Salukvadze G. V.** ----- 87

PRINCIPLES OF THE LAYOUT OF SECTIONS OF COMPRESSED ELEMENTS,  
TAKING INTO ACCOUNT THE PRESENCE OF RESIDUAL STRESSES

**Khvortova M. Y.** ----- 95

INFLUENCE OF ADDITIONAL INFRARED RADIATION  
ON PHOTOEMISSION FROM GALLIUM ARSENIDE

**Chernikov N. G., Chernikova I. D., Chernikova E. N.** ----- 98

IMPROVING OF VENTILATION SYSTEMS USING MPC CONTROLLER

**Chernikova I. D., Andriichuk V. N., Andriichuk N. D.** ----- 104

USING A JET AUTOGENERATOR BASED ON THE COAND EFFECT TO CALCULATE  
THE INSTRUMENT SPEED OF A SMALL AIRCRAFT

**Malakhova V.V., Malakhov O.V., Malakhova I.O.** ----- 113

THE LEVEL OF EDUCATION ORGANIZATIONAL AND MANAGERIAL COMPETENCE  
STUDENTS OF PROFESSIONAL EDUCATIONAL ORGANIZATIONS

**Dimitriev A.S.** ----- 117

RESEARCH OF VALUE ORIENTATIONS OF STUDENTS OF EDUCATIONAL  
INSTITUTIONS OF SECONDARY VOCATIONAL EDUCATION BY USING AN  
AXIOLOGICAL APPROACH AS A METHOD OF A PROMISING PARENTING STRATEGY

**Dimitrieva O.A.** ----- 121

ENSURING PROTECTION OF THE ACTIVE PART SEPARATION SUBSYSTEMS  
INTEGRATED INTO THE SYSTEM CONTINUOUS TRANSPORT BY FLEXIBLE-CHAIN  
POLYMERS

**Parsentev O. S.** ----- 128

УДК 697

## РАСЧЕТ РЕГУЛИРОВОЧНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ СИСТЕМ С ВИХРЕВЫМИ УСТРОЙСТВАМИ

Андрійчук В. Н., Пилавов М. В., Андрійчук Н. Д.

## CALCULATION OF REGULATION CHARACTERISTICS FOR VENTILATION SYSTEMS WITH VORTEX DEVICES

Andriichuk V. N., Pilavov M. V., Andriichuk N. D.

**Аннотация.** Для моделирования и исследования вентиляционных систем с вихревыми регулирующими устройствами предложена методика расчета их регулировочных характеристик. Представлены три типовые схемы построения вентиляторных установок: схема с вихревым регулирующим устройством в линии нагнетания, схема с вихревым регулирующим устройством в параллельной ветви и схема с вихревым регулирующим устройством в линии всасывания. При моделировании характеристик вентиляционных систем с вихревыми регулирующими устройствами приведенная методика расчета позволяет проводить анализ рабочих процессов для представленных основных схем вентиляторных установок. Характеристиками вентилятора рассматриваются зависимость для полного напора от расхода и зависимость для коэффициента полезного действия от расхода. Характеристики вентилятора в процессе моделирования аппроксимируются полиномами второго порядка. При исследовании энергетической эффективности различных схем вентиляторных установок в качестве регулировочной характеристики принимается зависимость для относительной мощности от глубины регулирования расхода. Выполнено моделирование вентиляционных систем с вихревыми регулирующими устройствами на примере вентиляторной установки с вентилятором ВР 80-75.1 № 2,5. На основе предложенной методики расчета регулировочных характеристик обоснована возможность повышения энергетической эффективности вентиляционной системы за счет уменьшения мощности, которая потребляется вентиляционной установкой. Величина уменьшения мощности определяется схемой установки вихревого регулирующего устройства и достигается за счет снижения потерь энергии, связанных с процессом регулирования.

**Ключевые слова:** методика расчета, вентиляционная система, вентиляторная установка, вихревой регулирующий элемент, дроссель, моделирование.

**Abstract.** To model and study ventilation systems with vortex regulation devices, the design procedure for calculating their regulation characteristics is proposed. Ventilation systems with vortex regulation devices are considered. Three typical schemes for constructing ventilator units are presented: a scheme with the vortex regulation device in the pressure line, a scheme with the vortex regulation device in the parallel line and a scheme with the vortex control device in the suction line. To simulate the characteristics of ventilation systems with vortex regulation devices, the calculation method is presented that allows the analysis of working processes for the presented basic schemes of ventilation units. The ventilator characteristics consider the dependence for the total head on the flow rate and the dependence for the efficiency on the flow rate. When modeling, the ventilator characteristics are approximated by the second-order polynomials. When studying the energy efficiency of various schemes for ventilator units, the dependence for the relative power on the depth of flow rate regulation is taken as the regulation characteristic. The modeling of ventilation systems with the vortex regulation devices was carried out using the example of the ventilator unit with the ventilator VR 80-75.1 N 2,5. On the basis of the proposed design procedure for calculating the regulation characteristics, the possibilities of increasing the energy efficiency of ventilation system by reducing the power consumed by the ventilator unit have been substantiated. The amount of power reduction is determined by the installation scheme of the vortex regulation device and is achieved by reducing the energy losses associated with the regulation process.

**Key words:** design procedure, ventilation system, ventilator unit, throttle, vortex regulation device.

**Введение.** Основная задача регулирования систем механической вентиляции состоит в обеспечении на всех участках вентиляционной сети, предусмотренных проектом расходов воздуха [1-4]. Регулированию или наладке предшествует техническое испытание вентиляторной установки, проводимое для снятия фактических показателей ее работы.

Самым распространенным способом регулирования вентиляционной системы является изменение характеристики сети, т. е. увеличение или уменьшение суммарного сопротивления путем открытия или прикрытия регулирующих устройств (дроссель-клапанов, шиберов, воздухораспределительных устройств и т.п.) [5-8]. Для вентиляционной системы регулирование начинают с регулирования вентиляторной установки для того, чтобы привести в соответствие проектным параметрам значение ее полного давления и производительности. Регулирование сети проводят в линиях, расположенных ближе к вентилятору. Путем создания дополнительных сопротивлений в линиях с помощью регулирующих устройств производительность по ответвлениям доводят до проектных значений [9-11]. Избытки воздуха перераспределяют по участкам, передавая их на те линии, где значения расходов воздуха занижены.

В том случае, когда расходы воздуха через устройства вентиляционной системы, а также в головном участке вентиляторной установки будут доведены до проектных параметров или будут отличаться от них не более чем на 10%, регулирование заканчивают. При регулировании обычно учитывают увеличение потребляемой мощности вентиляторов при повышении их производительности.

**Актуальность задачи.** Все большее применение в системах вентиляции и воздушного отопления находят вихревые регулирующие устройства (ВРУ) [12-14]. ВРУ не содержат подвижных механических элементов и поэтому имеют более высокие показатели надежности и долговечности в сравнении с механическими регулируемыми устройствами.

Принцип работы ВРУ в качестве регулирующего устройства заключается в следующем. Основной поток через ВРУ (рис. 1) поступает в радиальный канал и выходит через центральное отверстие [15-17]. При отсутствии сигнала потока управления, который подводится

в тангенциальный канал, гидравлическое сопротивление, которое создает ВРУ основному потоку, невелико. Поступающий в тангенциальный канал поток управления закручивает основной поток, при этом коэффициент гидравлического сопротивления ВРУ значительно возрастает, что приводит к изменению расхода вентиляционной установки. В качестве управляющего потока может быть использована часть основного потока, который подается через регулирующий орган, имеющий значительно меньшие размеры, чем ВРУ [18-20].

Анализ эффективности вентиляторных установок с ВРУ требует разработки методик расчета регулировочных характеристик, позволяющих определять затраты мощности, связанные с процессом регулирования. В настоящее время накоплен определенный опыт расчета и проектирования ВРУ [12, 15, 18], позволяющий выбирать требуемые геометрические параметры по заданным рабочим аэродинамическим характеристикам ВРУ. Вместе с тем в литературе практически отсутствуют сведения по расчету характеристик рабочих процессов при совместной работе вентиляторных установок с ВРУ, в частности нет общепринятых методик расчета регулировочных характеристик вентиляционных систем с ВРУ.

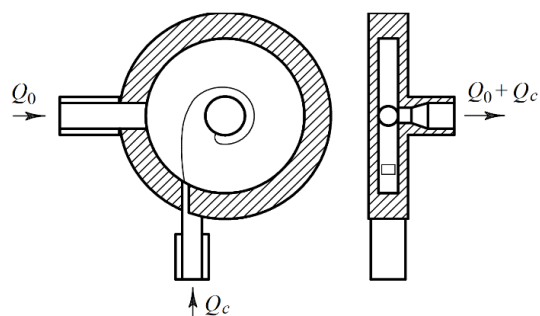


Рис. 1. Вихревое регулирующее устройство

В этой связи актуальной является задача совершенствования методов моделирования рабочих процессов в системах вентиляции с ВРУ.

**Целью работы** является разработка методики расчета регулировочных характеристик вентиляционных систем с ВРУ, анализ эффективности типовых схем вентиляторных установок с ВРУ.

**Изложение основного материала.** В общем случае вентиляторные установки с ВРУ могут быть построены по таким, трем основным схемам (рис. 2-4): вентиляторная

установка с ВРУ в линии нагнетания (рис. 2); вентиляторная установка с ВРУ в параллельной ветви (рис. 3); вентиляторная установка с ВРУ в линии всасывания (рис. 4). На рисунках обозначены: В – вентилятор; ВРУ – вихревое регулирующее устройство; ДР – дроссель; РЭ – регулирующий элемент в канале управления.

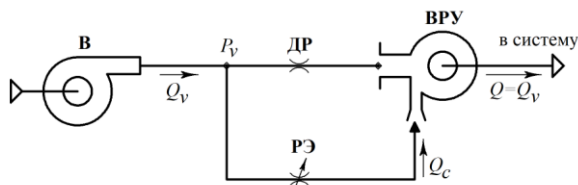


Рис. 2. Вентиляторная установка с ВРУ в линии нагнетания

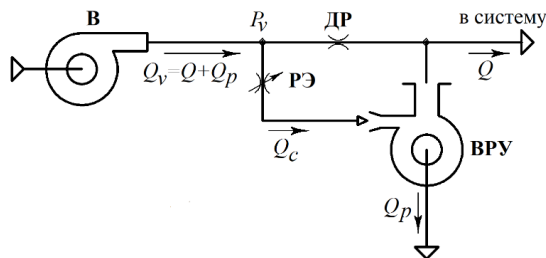


Рис. 3. Вентиляторная установка с ВРУ в параллельной линии

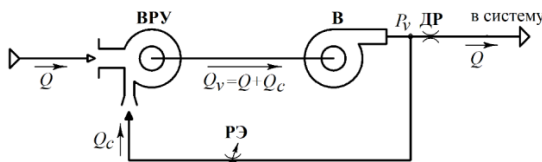


Рис. 4. Вентиляторная установка с ВРУ во всасывающей линии

Рабочий процесс регулирования вентиляционной установки с ВРУ в линии нагнетания поясняется на рис. 5.

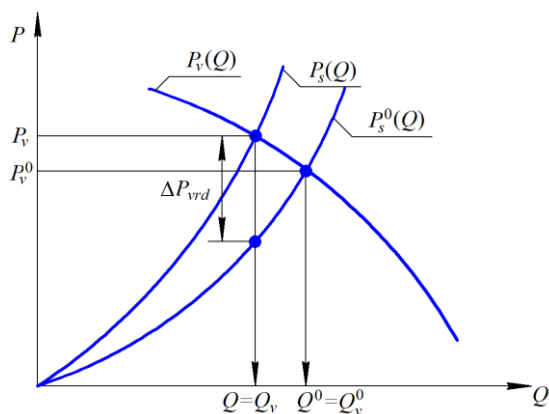


Рис. 5. Регулирование вентиляционной установки с ВРУ в линии нагнетания

Для нормального открытого ВРУ характеристика вентилятора  $P_v(Q)$  и начальная характеристика сети  $P_s^0(Q)$ , устанавливаемая дросселем ДР, определяют начальное значение расхода в систему, которое равно расходу вентилятора  $Q^0 = Q_v^0$ . При открытии канала управления, что осуществляется установленным в нем регулирующим элементом РЭ, закручивается основной поток и возрастает аэродинамическое сопротивление ВРУ. Изменяется характеристика сети за счет дополнительного перепада давления на ВРУ  $\Delta P_{ВРУ}$ . Значение расхода  $Q$ , поступающего в систему, как и расхода вентилятора  $Q_v$ , уменьшается. Для данной схемы вентиляционной установки  $Q = Q_v$ .

Рабочий процесс регулирования вентиляционной установки с ВРУ в параллельной линии поясняется на рис. 6.

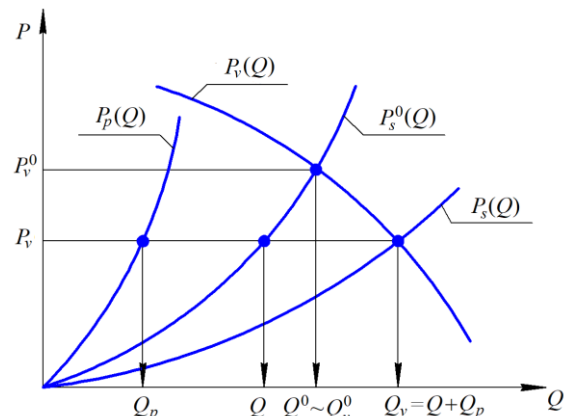


Рис. 6. Регулирование вентиляционной установки с ВРУ в параллельной линии

В данной схеме начальное максимальное значение расхода  $Q^0$ , поступающего в систему, обеспечивается при нормально закрытом ВРУ и устанавливается дросселем ДР. Значение расхода вентилятора  $Q_v^0$  больше  $Q^0$  на величину расхода в канале управления  $Q_c$ . Выбором геометрических параметров ВРУ [12, 15, 18] можно обеспечить его закрытие максимальным значением расхода в канале управления  $Q_{c,max}$  до 5% от начального расхода вентилятора. Поэтому для начальной рабочей точки можно принять  $Q^0 \approx Q_v^0$ .

При закрытии канала управления, что осуществляется установленным в нем регулирующим органом РЭ, снижается закрутка потока в ВРУ и, следовательно, аэродинамическое сопротивление ВРУ

уменьшается. С ростом расхода в параллельной линии  $Q_l$  расход в систему  $Q$  уменьшается, а значение расхода вентилятора  $Q_v$  увеличивается, при этом  $Q_v = Q + Q_l$ .

Рабочий процесс регулирования вентиляционной установки с ВРУ в линии всасывания поясняется на рис. 7.

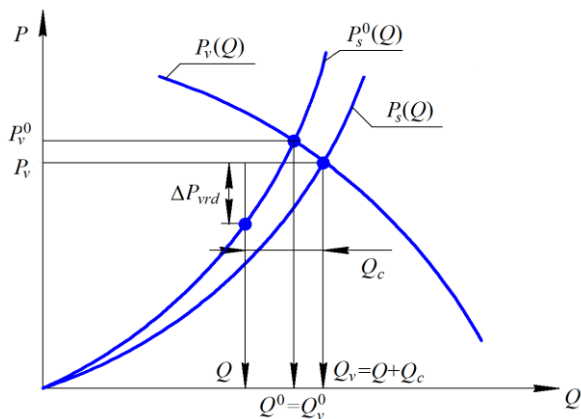


Рис. 7. Регулирование вентиляторной установки с ВРУ в линии всасывания

Как и в схеме вентиляторной установки с ВРУ в линии нагнетания, так и схеме с ВРУ в линии всасывания начальное максимальное значение расхода  $Q^0$ , равное начальному расходу вентилятора  $Q_v^0$ , обеспечивается при нормально открытом ВРУ и устанавливается дросселем ДР. При открытии канала управления, что осуществляется установленным в нем регулирующим элементом РЭ, закручивается основной поток и возрастает аэродинамическое сопротивление ВРУ. Характеристика сети изменяется как за счет дополнительного перепада давления на ВРУ  $\Delta P_{vrd}$ , так и дополнительного расхода в канале управления  $Q_c$ . Расход в систему  $Q$  уменьшается, а значение расхода вентилятора  $Q_v$  возрастает, при этом  $Q_v = Q + Q_c$ .

Необходимо отметить, что заметное отличие регулировочных характеристик для данной схемы, в сравнении со схемой ВРУ в линии нагнетания, будет лишь в том случае, если расход в канале управления будет составлять более 10% расхода вентилятора. Поэтому выбор геометрических параметров ВРУ для данной схемы должен обеспечивать соответствующий уровень расхода управления.

Анализ рабочих процессов в рассмотренных схемах позволяет предложить такую методику расчета регулировочных

характеристик вентиляторных установок с ВРУ.

1. Вентиляторная установка с ВРУ в линии нагнетания.

1.1. Получаем аппроксимационные зависимости для характеристик вентилятора  $P_v(Q)$  и его КПД  $\eta_v(Q)$ . Согласно известным подходам [2, 3] достаточную точность обеспечивает аппроксимация полиномом второго порядка:

$$P_v(Q) = a + bQ + cQ^2, \quad (1)$$

$$\eta_v(Q) = A + BQ + CQ^2, \quad (2)$$

где  $a, b, c, A, B, C$  – коэффициенты аппроксимации.

1.2. Определяем начальное значение мощности вентиляторной установки

$$N_0 = \frac{P_v^0 Q_v^0}{\eta_v^0} = \frac{(a + bQ_v^0 + c(Q_v^0)^2) Q_v^0}{A + BQ_v^0 + C(Q_v^0)^2}. \quad (3)$$

1.3. Задаемся глубиной регулирования  $k$

$$k = Q/Q^0 \quad (4)$$

и определяем новое значение расхода в систему

$$Q = kQ^0. \quad (5)$$

1.4. Определяем новое значение расхода  $Q_v$ , полного напора  $P_v$  и КПД вентилятора  $\eta_v$

$$Q_v = Q, \quad (6)$$

$$P_v(Q) = a + bQ_v + cQ_v^2, \quad (7)$$

$$\eta_v(Q) = A + BQ_v + CQ_v^2. \quad (8)$$

1.5. Рассчитываем величину мощности вентиляторной установки и ее безразмерное значение

$$N = P_v Q_v / \eta_v, \quad (9)$$

$$\bar{N} = N/N_0. \quad (10)$$

1.6. Повторяем пп. 3-5 и устанавливаем зависимость  $\bar{N}(k)$ .

1.7. Для расчета характеристик ВРУ удобно воспользоваться функциональными зависимостями в виде

$$Q_c = f_c(P_v, \xi), \quad (11)$$

$$\Delta P_{BPU} = f_p(Q, Q_c), \quad (12)$$

где  $\xi$  – параметр управления РЭ, которым могут выступать электрический сигнал, площадь проходного сечения, положение регулирующего органа [15, 18] и др.

Зависимости (11, 12) устанавливаются для конкретного ВРУ по известным методикам [12, 15]. На основании (11) по результатам расчетов, выполненных в пп. 1.6, при необходимости можно определить другие регулировочные характеристики, например, такие как  $\bar{N}(\xi)$  и  $k(\xi)$ .

2. Вентиляторная установка с ВРУ в параллельной линии.

Пп. 2.1-2.3 аналогично пп. 1.1-1.3.

2.4. Определяем новое значение расхода  $Q_v$ , полного напора  $P_v$  и КПД вентилятора  $\eta_v$  следующим образом.

Для данной схемы значение полного напора вентилятора есть потребный напор для системы с расходом  $Q$ . Поскольку характеристика системы есть начальная характеристика сети  $P_c^0(Q)$ , то  $P_v = P_c^0(Q)$ .

Начальная характеристика сети может быть описана квадратичной зависимостью

$$P_c^0 = R_0 Q^2, \quad (13)$$

где  $R_0$  – приведенное аэродинамическое сопротивление системы [2, 3].

Поэтому

$$R_0 = P_v^0 / (Q^0)^2, \quad (14)$$

и значение нового полного напора вентилятора определяется выражением

$$P_v = R_0 Q^2. \quad (15)$$

Далее согласно (1) определяем новое значение расхода вентилятора

$$Q_v = \frac{-b - \sqrt{b^2 - 4c(a - P_v)}}{2c} \quad (16)$$

и значение КПД  $\eta_v$  по зависимости (8).

Пп. 2.5-2.7 аналогично пп. 1.5-1.7.

3. Вентиляторная установка с ВРУ в линии всасывания.

Пп. 1-3 аналогично предыдущим методикам.

3.4. Определяем новое значение расхода  $Q_v$  полного напора вентилятора  $P_v$  и его КПД  $\eta_v$  исходя из того, что характеристика сети изменится как за счет дополнительного перепада давления на ВРУ  $\Delta P_{BPU}$ , так и дополнительного расхода в канале управления  $Q_c$ . Поэтому для конкретного ВРУ согласно (12) оцениваем величину  $\Delta P_{BPU}$  и, учитывая особенности работы вентиляционной установки с параллельной линией (см. п. 2.4), находим новое значение напора вентилятора

$$P_v = R_0 Q^2 + \Delta P_{BPU}. \quad (17)$$

Здесь величина приведенного аэродинамического сопротивления системы  $R_0$  согласно (14).

Новые значения расхода вентилятора  $Q_v$  и его КПД  $\eta_v$  определяются соответственно по выражениям (16) и (8).

Пп. 3.5-3.7 аналогично рассмотренным ранее.

**Результаты исследований.** Согласно предложенной методике проведен расчет регулировочных характеристик вентиляторной установки с вентилятором ВР 80-75.1 № 2,5.

Аппроксимационная характеристика вентилятора и его КПД представлены соответственно на рис. 8, 9 и имеют вид (единицы измерения в системе СИ):

$$P_v = 171,7 + 2,07 \cdot 10^3 Q - 5,82 \cdot 10^3 Q^2; \quad (18)$$

$$\eta_v = 0,0096 + 6,31 Q - 13,3 Q^2. \quad (19)$$

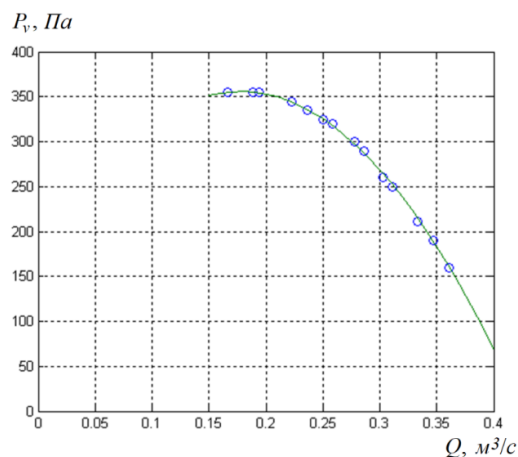


Рис. 8. Характеристика вентилятора ВР 80-75.1 № 2,5

(○ – опытные значения; — – аппроксимация)

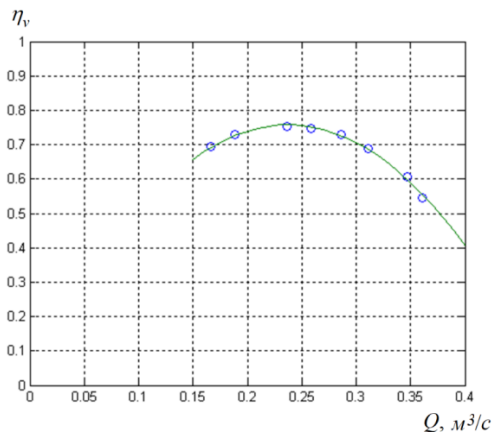


Рис. 9. КПД вентилятора ВР 80-75.1 № 2,5  
(○ – опытные значения; — – аппроксимация)

Результаты расчета регулировочных характеристик для рассмотренных схем вентиляторных установок с ВРУ показаны на рис. 10. В качестве начального значения расхода принималась величина  $Q^0 = 0,32 \text{ м}^3/\text{с}$ .

Анализ полученных результатов показывает, что установка с ВРУ в линии нагнетания не дает повышения эффективности за счет снижения затрат мощности, поскольку регулировочная характеристика соответствует известным при установке регулирующих устройств в напорной линии. Снижение затрат мощности достигается в схеме вентиляторной установки с ВРУ в линии всасывания (кривая 3) и в большей степени с ВРУ в параллельной линии (более 10% при глубине регулирования до 0,5 от начального расхода, кривая 2). При установке регулирующего устройства в параллельной линии использовалось ВРУ с расходом управления  $Q_c$  до  $0,05Q_0$ , в линии всасывания устанавливалось ВРУ с характеристикой  $\Delta P_{ВРУ} = 0,6R_0Q^2$ .

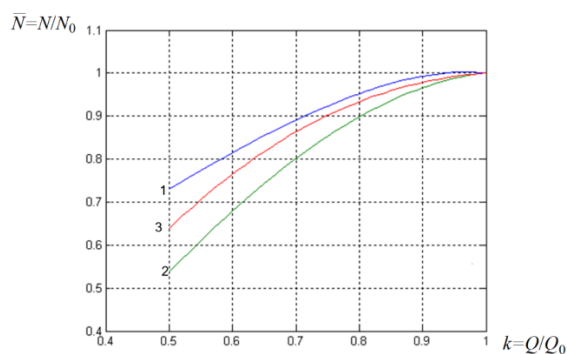


Рис. 10. Регулировочные характеристики вентиляторной установки  
(1 – ВРУ в линии нагнетания; 2 – ВРУ в параллельной линии; 3 – ВРУ в линии всасывания)

Следует отметить, что данный характер поведения регулировочных характеристик имеет место для вентиляторов с лопатками, загнутыми назад. Кроме того, величина снижения затрат мощности определяется характеристиками конкретного вентилятора, выбором начальной рабочей точки и другими факторами.

**Выводы.** Таким образом, для моделирования и исследования вентиляционных систем с ВРУ предложена методика расчета их регулировочных характеристик. Представлены три типовые схемы построения вентиляторных установок: схема с ВРУ в линии нагнетания, схема с ВРУ в параллельной ветви и схема с ВРУ в линии всасывания.

При моделировании характеристик вентиляционных систем с ВРУ приведенная методика расчета позволяет проводить анализ рабочих процессов для представленных основных схем вентиляторных установок. Характеристиками вентилятора рассматриваются зависимость для полного напора от расхода и зависимость для коэффициента полезного действия от расхода. Характеристики вентилятора в процессе моделирования аппроксимируются полиномами второго порядка. При исследовании энергетической эффективности различных схем вентиляторных установок в качестве регулировочной характеристики принимается зависимость для относительной мощности от глубины регулирования расхода.

Выполнено моделирование вентиляционных систем с ВРУ на примере вентиляторной установки с вентилятором ВР 80-75.1 № 2,5. На основе предложенной методики расчета регулировочных характеристик обоснована возможность повышения энергетической эффективности вентиляционной системы за счет уменьшения мощности, которая потребляется вентиляционной установкой. Величина уменьшения мощности определяется схемой установки ВРУ и достигается за счет снижения потерь энергии, связанных с процессом регулирования.

#### Список источников

1. Посохин, В.Н. Вентиляция / В.Н. Посохин, Р.Г. Сафиуллин, В.А. Бройда. – М.: АСВ, 2020. – 624 с.
2. Системы вентиляции: моделирование, оптимизация / Я.А. Гусенцова, К.Н. Андрийчук,

А.А. Коваленко [и др.]. – Луганск: ВНУ им. В. Даля, 2005. – 206 с.

3. Соколов В.И. Аэродинамика газовых потоков в каналах сложных вентиляционных систем. – Луганск: ВГУ, 1999. – 200 с.

4. Инженерные задачи диффузии примеси в потоке / В.И. Соколов, А.А. Коваленко, Г.С. Калужный [и др.]. – Луганск: ВУГУ, 2000. – 168 с.

5. Системы вентиляции и кондиционирования. Теория и практика / В.А. Ананьев, Л.Н. Балужева, А.Д. Гальперин [и др.]. – М.: Евроклимат, 2003. – 416 с.

6. 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.

7. Соколов, В.І. Гідравліка / В.І. Соколов, О.С. Кріль, О.В. Єпіфанова. – Сєвєродонецьк: СЛУ ім. В. Даля, 2017. – 160 с.

8. Krol, O. Modeling of Spindle Node Dynamics Using the Spectral Analysis Method / O. Krol, V. Sokolov // Advances in Design Simulation and Manufacturing III. DSMIE 2020. Lecture Notes in Mechanical Engineering. – Cham: Springer, 2020. – Vol. 1. – P. 35-44.

9. Стефанов, Е.В. Вентиляция и кондиционирование воздуха / Е.В. Стефанов. – СПб: АВОВ СЕВЕРО-ЗАПАД, 2005. – 400 с.

10. 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.

11. Sokolov, V. Criteria Analysis of Diffusion Processes in Channels of Industrial Ventilation Systems / V. Sokolov // Proceedings of the 7th International Conference on Industrial Engineering. ICIE 2021. Lecture Notes in Mechanical Engineering. – Cham: Springer, 2022. – Vol. 2. – P. 725-731.

12. Вихревые устройства в системах вентиляции / Я.А. Гусенцова, Е.А. Иващенко, А.А. Коваленко [и др.]. – Луганск: ВНУ им. В. Даля, 2006. – 296 с.

13. Sokolov, V. Increasing Efficiency of Ventilation Systems with Vortex Regulation Devices / V. Sokolov // Proceedings of the 8th International Conference on Industrial Engineering. ICIE 2022. Lecture Notes in Mechanical Engineering. – Cham: Springer, 2023. – P. 1012-1022.

14. Sokolov, V. Diffusion of circular source in the channels of ventilation systems / V. Sokolov // Advances in engineering research and application. ICERA 2018. Lecture notes in networks and systems. – Cham: Springer, 2019. – Vol. 63. – P. 278-283.

15. Сьомін, Д.О. Вихорокамерні нагнітачі / Д.О. Сьомін, А.С. Роговий. – Харків: ФОП Мезіна В.В., 2017. – 204 с.

16. Sokolov, V. Increased measurement accuracy of average velocity for turbulent flows in channels of ventilation systems / V. Sokolov // Proceedings of the 6th international conference on industrial engineering (ICIE 2020). Lecture notes in mechanical engineering. – Cham: Springer, 2021. – Vol. 2. – P. 1182-1190.

17. Каменев, П.Н. Вентиляция. Учебное пособие / П.Н. Каменев, Е.И. Тертичник. – М.: АСВ, 2008. – 624 с.

18. Струйная техника в системах вентиляции / Я.А. Гусенцова, Е.А. Иващенко, А.А. Коваленко [и др.]. – Луганск: ВНУ им. В. Даля, 2007. – 292 с.

19. Improvement of HVAC systems based on adaptive predictive control / V. Sokolov, O. Krol, V. Andriichuk [et al.] // E3S Web of Conferences. – 2023. – Vol. 420. – 07020.

20. Судак, В. Системы VAV. Краткое описание / В. Судак, Я. Хендигер. – Краков: SMAY, 2009. – 80 с.

## References

1. Posokhin, V.N. Ventilation / V.N. Posokhin, R.G. Safiullin, V.A. Broyda. – Moscow: ASV, 2020. 624 p.

2. Ventilation systems: modeling, optimization / Ya.A. Gusentsova, K.N. Andriychuk, A.A. Kovalenko [et al.]. Lugansk: V. Dal National University, 2005. 206 p.

3. Sokolov V.I. Aerodynamics of gas flows in the channels of complex ventilation systems. Lugansk: VSU, 1999. 200 p.

4. Engineering problems of impurity diffusion in a flow / V.I. Sokolov, A.A. Kovalenko, G.S. Kalyuzhny [et al.]. – Lugansk: VUGU, 2000. – 168 p.

5. Ventilation and air conditioning systems. Theory and practice / V.A. Ananyev, L.N. Balueva, A.D. Galperin [et al.]. – Moscow: Evroklimat, 2003. – 416 p.

6. 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.

7. Sokolov, V.I. Hydraulics / V.I. Sokolov, O.S. Krol, O.V. Epifanova. – Severodonetsk: SNU named after V. Dal, 2017. – 160 p.

8. Krol, O. Modeling of Spindle Node Dynamics Using the Spectral Analysis Method / O. Krol, V. Sokolov // Advances in Design Simulation and Manufacturing III. DSMIE 2020. Lecture Notes in Mechanical Engineering. – Cham: Springer, 2020. – Vol. 1. – P. 35-44.

9. Stefanov, E.V. Ventilation and air conditioning / E.V. Stefanov. – St. Petersburg: AVOK SEVERO-ZAPAD, 2005. – 400 p.

10. 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.

11. Sokolov, V. Criteria Analysis of Diffusion Processes in Channels of Industrial Ventilation Systems / V. Sokolov // Proceedings of the 7th International Conference on Industrial Engineering. ICIE 2021. Lecture

Notes in Mechanical Engineering. – Cham: Springer, 2022. – Vol. 2. – P. 725-731.

12. Vortex devices in ventilation systems / Ya.A. Gusentsova, E.A. Ivashchenko, A.A. Kovalenko [and others]. – Lugansk: VNU im. V. Dahl, 2006. – 296 p.

13. Sokolov, V. Increasing Efficiency of Ventilation Systems with Vortex Regulation Devices / V. Sokolov // Proceedings of the 8th International Conference on Industrial Engineering. ICIE 2022. Lecture Notes in Mechanical Engineering. – Cham: Springer, 2023. – P. 1012-1022.

14. Sokolov, V. Diffusion of circular source in the channels of ventilation systems / V. Sokolov // Advances in engineering research and application. ICERA 2018. Lecture notes in networks and systems. – Cham: Springer, 2019. – Vol. 63. – P. 278-283.

15. Syomin, D.O. Whirlwind pumps / D.O. Syomin, A.S. Horny. – Kharkiv: FOP Mezina V.V., 2017. – 204 p.

16. Sokolov, V. Increased measurement accuracy of average velocity for turbulent flows in channels of ventilation systems / V. Sokolov // Proceedings of the 6th international conference on industrial engineering (ICIE 2020). Lecture notes in mechanical engineering. – Cham: Springer, 2021. – Vol. 2. – P. 1182-1190.

17. Kamenev, P.N. Ventilation. Textbook / P.N. Kamenev, E.I. Tertiary. – Moscow: ASV, 2008. – 624 p.

18. Jet technology in ventilation systems / Ya.A. Gusentsova, E.A. Ivashchenko, A.A. Kovalenko [et al.]. – Lugansk: VNU im. Dahl, 2007. – 292 p.

19. Improvement of HVAC systems based on adaptive predictive control / V. Sokolov, O. Krol, V. Andriichuk [et al.] // E3S Web of Conferences. – 2023. – Vol. 420. – 07020.

20. Sudak, V. VAV systems. Brief description / V. Sudak, J. Hendiger. – Krakow: SMAY, 2009. – 80 p.

*Статья поступила в редакцию 18.09.2024*

### Информация об авторах

**Андрийчук Владислав Николаевич**, к-т техн.н., доцент кафедры вентиляции, теплого- и водоснабжения института строительства, архитектуры и жилищно-коммунального хозяйства Луганского государственного университета имени Владимира Даля, г. Луганск.  
*SPIN-код: 6518-6551, AuthorID: 1182325*  
**E-mail:** vlad19790401a@gmail.com

**Пилавов Манолис Васильевич**, д-р техн.н., профессор кафедры вентиляции, теплого- и водоснабжения института строительства, архитектуры и жилищно-коммунального хозяйства Луганского государственного университета имени Владимира Даля, г. Луганск.  
**E-mail:** manolis.pilavov@mail.ru

**Андрийчук Николай Данилович**, д-р техн.н., профессор, директор института строительства, архитектуры и жилищно-коммунального хозяйства Луганского государственного университета имени Владимира Даля, г. Луганск.  
*SPIN-код: 8891-2117, AuthorID: 1120325*  
**E-mail:** nikolai.andriichuk@mail.ru

### Information about the authors

**Andriichuk Vladislav Nikolaevich**, PhD (Eng), Associate Professor of Ventilation, Heat, Gas and Water Supply Department of Construction, Architecture and Housing and Communal Services Institute of Vladimir Dahl Lugansk State University.  
*SPIN-код: 6518-6551, AuthorID: 1182325*  
**E-mail:** vlad19790401a@gmail.com

**Pilavov Manolis Vasil'yevich**, DSc (Eng), Professor of Ventilation, Heat, Gas and Water Supply Department of Construction, Architecture and Housing and Communal Services Institute of Vladimir Dahl Lugansk State University.  
**E-mail:** manolis.pilavov@mail.ru

**Andriichuk Nikolai Danilovich**, DSc (Eng), Professor, Director of Construction, Architecture and Housing and Communal Services Institute of Vladimir Dahl Lugansk State University.  
*SPIN-код: 8891-2117, AuthorID: 1120325*  
**E-mail:** nikolai.andriichuk@mail.ru

### Для цитирования:

Андрийчук В.Н., Пилавов М.В., Андрийчук Н.Д. Расчет регулировочных характеристик вентиляционных систем с вихревыми устройствами // Вестник Луганского государственного университета имени Владимира Даля. – 2024. – № 12(90). – С. 7-14.

### For citation:

Andriichuk V.N., Pilavov M.V., Andriichuk N.D. Calculation of regulation characteristics for ventilation systems with vortex devices // Vestnik of Lugansk State University named after Vladimir Dahl. – 2024. – № 12(90). – P. 7-14.

УДК 625.725

## УСЛОВИЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ АРМИРОВАННЫХ ОТКОСОВ НАСЫПЕЙ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

Бегей А. А., Рябинина М. М.

## CONDITIONS FOR ENSURING THE STABILITY OF REINFORCED SLOPES OF EMBANKMENTS OF HIGHWAYS

Begei A. A., Ryabinina M. M.

**Аннотация.** Обеспечение устойчивости откосов земляного полотна при постоянном увеличении нагрузки и изменении условий работы земляных сооружений является очень важной проблемой. Армирование откосов земляного полотна не всегда обеспечивает достаточную прочность и устойчивость откосов. Существующие методы расчета армированных откосов земляного полотна в значительной степени носят приближенный характер, так как в своем количестве не полностью учитывают особенности работы армирующей прослойки в грунте, его деформативные и прочие свойства.

**Ключевые слова:** земляное полотно, армирование откосов, сцепление между слоями, пластическая деформация, упругая деформация, сдвигоустойчивость.

**Abstract.** Ensuring the stability of the slopes of the roadbed, with a constant increase in load and changing working conditions of earthworks, is a very important problem. Reinforcement of the slopes of the roadbed does not always provide sufficient strength and stability of the slopes. The existing methods for calculating reinforced slopes of the roadbed are largely approximate in nature, since in their number they do not fully take into account the peculiarities of the reinforcing layer in the soil, its deformative properties and other properties.

**Key words:** roadbed, slope reinforcement, adhesion between layers, plastic deformation, elastic deformation, shear stability.

**Введение.** Практически во всех известных разработках в этом направлении размещение прослоек по высоте откоса принимается фиксированным с постоянным шагом. Расчет ориентирован лишь на определение степени прочности конкретной конструкции без решения задачи о наиболее целесообразном размещении прослоек, равномерного распределения нагрузок на сдвиг на каждую из прослоек с учетом деформативных свойств армирующего материала. При этом не рассматривается задача определения оптимального (минимально необходимого) количества слоев армирования, оптимального местоположения их в теле земляного полотна.

**Материалы и методы.** Основой оценки устойчивости откосов насыпей автомобильных дорог является установление их действительного расчетного напряженного состояния с предельно возможным. В основу современных инженерных методов оценки устойчивости сооружений положено понятие о

коэффициенте запаса устойчивости, который в общем случае можно представить в виде

$$K_{\text{зап}} = \frac{R}{R_d}, \quad (1)$$

где  $R$  – общее реактивное предельное сопротивление грунта действия предельной нагрузки;

$R_d$  – реакция массива грунта на действие нагрузки.

Таким образом,  $K_{\text{зап}}$  имеет определенный физический смысл и показывает, в какой степени использовано возможное предельное сопротивление грунта. Весьма существенно, что при этом сравниваются только одинаковые по природе реактивные силы предельные и действующие.

Кроме того, должно выполняться условие равновесия

$$R_a - \dot{A} = 0, \quad (2)$$

где  $\dot{A}$  – "обобщенная" активная сила, соответствующая рассматриваемому

(действительному) состоянию грунтового массива.

Совместное решение уравнения физического понятия о коэффициенте запаса устойчивости (1) и уравнения равновесия (2) приводит к выводу для  $K_{\text{зап}}$  в виде

$$K_{\text{зап}} = \frac{R}{A}. \quad (3)$$

Можно определить  $K_{\text{зап}}$  исходя из соотношений

$$K_{\text{зап}} = \frac{T_{\text{п.р.}}}{T_{\text{д.р.}}} \text{ или } K_{\text{зап}} = \frac{M_{\text{п.р.}}}{M_{\text{д.р.}}}, \quad (4)$$

где  $T_{\text{п.р.}}$  и  $M_{\text{п.р.}}$  – сумма проекций или моментов всех реактивных сил в предельном состоянии;

$T_{\text{д.р.}}$  и  $M_{\text{д.р.}}$  – сумма проекций или моментов действующих реактивных сил.

Необходимо использовать лишь деление всех сил на активные и реактивные, а последние, в свою очередь, на предельные и действующие.

При введении усиливающего элемента в грунт, прикладывание вертикальной нагрузки вызывает деформацию элемента грунта и удлинение усиливающего элемента. Удлинение создает усилие в элементе усиления, что, в свою очередь, вызывает горизонтальное напряжение. Это напряжение, ограничивающее подвижность частиц грунта, значительно повышает сопротивление горизонтальным силам и уменьшает горизонтальные деформации. Кроме того, включение геотекстильной прослойки в массив грунта снижает нагрузку и усилия, возникающие в грунте; с другой стороны, вертикальная нагрузка, прикладываемая к массиву грунта, может быть повышена в сравнении с неусиленным грунтом с эквивалентными значениями деформаций.

Откос дорожной насыпи является одним из основных элементов инженерного сооружения, устойчивость которого должна быть оценена с помощью расчетов не только качественно, но и количественно. Основной параметр проектируемого откоса – угол его заделки при определенной высоте откоса.

Существующие методы расчета откосов земляных сооружений состоят, как правило, из двух этапов. На первом этапе проверяют устойчивость неармированного откоса. Если расчетный коэффициент устойчивости ( $K_{\text{зап}}$ )

больше необходимого ( $K_{\text{тр}}$ ), то армирование не назначают. Если  $K_{\text{зап}}$  меньше  $K_{\text{тр}}$ , то на другом этапе следует проводить анализ местоположения критической поверхности на сдвиг и назначать армирование, не изменяя при этом геометрических параметров насыпи. Однако при вводе в массив насыпи армирующих прослоек можно определить оптимальный угол заделки откосов.

В неустойчивых откосах, характеризующихся однородным составом, нарушение устойчивости происходит по наиболее слабым поверхностям скольжения, образующимся непосредственно в момент нарушения устойчивого равновесия откоса.

**Результаты и обсуждения.** Расчетную поверхность скольжения можно построить в неустойчивом массиве, предполагая, что данный откос находится в состоянии предельного равновесия. В соответствии с положениями статики сыпучей среды в откосах с однородным составом, площадки скольжения в любой точке могут быть найдены к наибольшей главной нагрузке под углом  $45^\circ - \varphi/2$  и возникают при нагрузках

$$\delta_0 = 2c \operatorname{ctg} \left( 45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right), \quad (5)$$

где  $c$  – сцепление грунта;

$\varphi$  – угол внутреннего трения грунта.

Из формулы (5) видно, что площадки скольжения возникают, лишь начиная с глубины

$$H_{90} = \frac{2c}{\gamma} \operatorname{ctg} \left( 45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right), \quad (6)$$

где  $\gamma$  – объемный вес грунта.

В массиве грунта наибольшие главные нагрузки, удаленные от откоса, направлены вертикально, а по мере приближения к откосу устремляются в сторону откоса и на поверхности вогнутых и плоских откосов совпадают с ним. С изменением направления действия наибольших главных нагрузок от  $90^\circ$  до  $\alpha$  ( $\alpha$  – угол заделки откоса) меняется и направление площадок скольжения. Однако угол наклона их к наибольшим главным напряжениям остается постоянным, равным  $45^\circ - \varphi/2$ . Зная направление наибольших главных напряжений в каждой точке некоторой области, можно построить общую поверхность скольжения в предельно напряженном откосе.

Решение задачи определения положения поверхности скольжения значительно

упрощается, если обратиться сначала к случаю вертикального откоса ( $\alpha = 90^\circ$ ), а затем расширить полученный результат на общий случай ( $\alpha/90^\circ$ ).

При вертикальном откосе направление  $\delta_1$  остается постоянным, потому что площадки скольжения всегда наклонены к направлению  $\delta_1$  под углом  $45^\circ \varphi/2$ , общая поверхность скольжения будет плоской, а угол наклона ее к горизонту

$$B = \frac{90+\varphi}{2}. \quad (7)$$

Переходя теперь к общему выпуску ( $\alpha/90^\circ$ ) для любого значения угла  $\alpha$ , получим

$$B = \frac{\alpha+\varphi}{2}. \quad (8)$$

**Выводы.** Для оценки прочности и устойчивости откоса потенциальные поверхности разрушения принимаются круглоцилиндрическими или клиновидными, но также возможны другие формы.

Армирующий синтетический материал используется для армирования откосов с целью укрепления грунта тела насыпи, повышения крутости откосов. При этом важно учитывать область грунта земляного полотна, величину вертикального расстояния между прослойками, длину заделки прослойки в устойчивую часть

#### Информация об авторах

**Бегей Алла Анатольевна**, старший преподаватель кафедры проектирования и технологии строительства Луганского государственного университета имени Владимира Даля, г. Луганск.  
**E-mail:** alla.begei@yandex.ru

**Рябинина Маргарита Михайловна**, старший преподаватель кафедры проектирования и технологии строительства Луганского государственного университета имени Владимира Даля, г. Луганск.  
**E-mail:** m.ryabinina2014@yandex.ru

откоса, предел прочности геотекстильного материала.

#### Список источников

1. Иванов П.Л. Грунты и основания гидротехнических сооружений. Механика грунтов: Учеб. для гидротехн. спец. вузов / П.Л. Иванов – М.: Выш. шк., 1991. – 447 с.
2. Дашко Р. Е. Механика горных пород: учебник для вузов / Р.Е. Дашко – М.: «Недра», 1987. – 264 с.
3. Маслов М.М. Механика грунтов в практике строительства (оползни и борьба с ними): [учеб. пособие для вузов] / М.М. Маслов – М.: Стройиздат, 1977. – 320 с.

#### References

1. Ivanov P.L. Soils and foundations of hydraulic structures. Soil mechanics: Textbook for hydraulic engineering. special universities / P.L. Ivanov – M.: vysh. shk., 1991. – 447 p.
2. Dashko R.E. Mechanics of rocks: textbook for universities / R.E. Dashko – M.: "Nedra", 1987. – 264 p.
3. Maslov M.M. Soil mechanics in construction practice (landslides and their control): [textbook. handbook for universities] / M.M. Maslov – M.: Stroyizdat, 1977. – 320 p.

*Статья поступила в редакцию 11.09.2024*

#### Information about the authors

**Begej Alla Anatolievna**, Senior Lecturer, Department of Design and Construction Technology at the Luhansk State University named after Vladimir Dahl.  
**E-mail:** m.ryabinina2014@yandex.ru

**Ryabinina Margarita Mihajlovna**, Senior Lecturer, Department of Design and Construction Technology the Luhansk State University named after Vladimir Dahl.  
**E-mail:** m.ryabinina2014@yandex.ru

#### Для цитирования:

Бегей А.А., Рябинина М.М. Условия обеспечения устойчивости армированных откосов насыпей автомобильных дорог // Вестник Луганского государственного университета имени Владимира Даля. – 2024. – № 12(90). – С. 15-17.

#### For citation:

Begei A.A., Ryabinina M.M. Conditions for ensuring the stability of reinforced slopes of embankments of highways // Vestnik of Lugansk State University named after Vladimir Dahl. – 2024. – № 12(90). – P. 15-17.

УДК 625.855.3

## СОВРЕМЕННЫЕ СПОСОБЫ ЯМОЧНОГО РЕМОНТА АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ ПОКРЫТИЙ

Бизирка И. И.

## MODERN METHODS OF POTHOLE REPAIR OF ASPHALT CONCRETE PAVEMENTS

Bizirka I. I.

**Аннотация.** В статье рассматриваются вопросы эффективности и долговечности ямочного ремонта покрытия при неблагоприятных условиях холодными асфальтобетонными смесями. Приведены основные виды дефектов асфальтобетонного покрытия, вызывающие образование выбоин, а также влияющие на восприятие пользователя, на безопасность дорожного движения и снижающие долговечность асфальтобетонного покрытия. Определены физико-механические показатели свойств холодной ремонтной смеси на основе органоминерального порошка.

**Ключевые слова:** дорожное покрытие, ямочный ремонт, дефекты, выбоины, холодный асфальтобетон.

**Abstract.** The article examines the issues of efficiency and durability of pothole repair of pavement under adverse conditions with cold asphalt concrete mixtures. The main types of asphalt concrete pavement defects causing potholes, as well as affecting user perception, road safety and reducing the durability of the asphalt concrete pavement are given. The physical and mechanical properties of cold repair mixture based on organomineral powder are determined.

**Key words:** road surface, pothole repair, defects, potholes, cold asphalt concrete.

**Введение.** Процесс эксплуатации автомобильных дорог и тротуаров неизменно связан с воздействием различных факторов, таких как климатические условия, интенсивность движения, механические нагрузки и старение материалов. Все эти условия приводят к образованию ям и трещин на асфальтобетонных покрытиях, что отрицательно сказывается как на безопасности дорожного движения, так и на комфорте пользователей. Ямочный ремонт становится важной и необходимой частью содержания дорожной инфраструктуры. В статье мы рассмотрим современные методы ямочного ремонта асфальтобетонных покрытий.

**Целью работы является** подробное изучение и анализ актуальных методов и технологий, применяемых при ямочном ремонте дорожных покрытий.

**Результаты и обсуждения.** Одним из самых эффективных способов решения проблемы образования дефектов в асфальтобетонных покрытиях является своевременное устранение различных деформаций и повреждений на начальных стадиях разрушения. Каждый день

имеет критическое значение в процессе формирования выбоин.

Образование выбоин — это результат разрушения покрытия, обусловленный рядом факторов, таких как воздействие влаги, увеличение транспортных нагрузок, замораживание и оттаивание, а также другими условиями (рис. 1).

Сегодня в отечественной практике применяются традиционные материалы и технологии для ремонта дорожных покрытий, которые зачастую не отличаются долговечностью и не являются экономически целесообразными [1-3].

В качестве основного ремонтного материала чаще всего используется асфальтобетонная смесь, требующая уплотнения. Для выполнения ремонтных работ задействуются малогабаритные катки, вибротрамбовки и трамбовки. По типу используемых асфальтобетонных смесей выделяют две основные группы: горячие и холодные смеси, что определяет два метода ямочного ремонта выбоин — холодный и горячий.



Рис. 1. Примеры выбоин

Самым популярным методом ямочного ремонта асфальтобетонных покрытий в нашей стране является горячий способ. В нем используется горячая асфальтобетонная смесь благодаря доступности и широкой сети асфальтобетонных заводов в дорожных службах. Однако данная технология имеет свои недостатки и создаёт сложности при использовании в условиях низких температур и повышенной влажности.

В условиях аварийного ремонта при неблагоприятных условиях используют холодный способ ямочного ремонта покрытий (холодные асфальтобетонные смеси) [4-5].

Для холодных асфальтобетонных смесей, обладающих повышенной долговечности, часто применяется битум, модифицированный различными полимерами и специальными добавками. Введение этих добавок значительно повышает стоимость смеси.

Для снижения стоимости холодных асфальтобетонных смесей предлагается использование органоминерального порошка из осадка сточных вод.

Присутствие воды в осадке сточных вод приводит к увеличению адгезионных свойств. В результате смешивания вода, находящаяся в осадке, испаряется, а сухой остаток равномерно распределяется по всей массе битума и каменных материалов. Такая большая однородность и равномерность распределения невыполнима при использовании сухих минеральных порошков.

Холодный асфальтобетон с органоминеральным порошком из осадка сточных вод характеризуется такими показателями: предел прочности при сжатии при 20°C – 1,6 МПа, коэффициент водостойкости при длительном водонасыщении – 0,74, слеживаемость – 3 удара (табл. 1).

Таблица 1

**Результаты испытаний холодной асфальтобетонной смеси на основе органоминерального порошка из осадков сточных вод**

| № п/п | Наименование показателя                                                              | Рекомендуемые значения                              | Метод испытаний                                                                                               | Фактические результаты |
|-------|--------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|
| 1     | Содержание битумного вяжущего, %                                                     | 5,0-8,0                                             | ГОСТ Р 58401.15-2019 или ГОСТ 12801-98 (подраздел 23.3)                                                       | 6,37                   |
| 2     | Максимальный размер зерен минерального материала в смеси, мм, не более               | 16                                                  | Определяют на сите с ячейкой 16,0 мм по ГОСТ 33029-2014 после определения содержания битумного вяжущего       | 1,25                   |
| 3     | Однородность                                                                         | Удовлетворяет                                       | Отсутствие посторонних включений, равномерное покрытие минерального материала органическим вяжущим материалом | Однородно              |
| 4     | Водонасыщение, % по объему                                                           | 4,0-6,0                                             | ГОСТ 12801-98 (пункт 13.2.2)                                                                                  | 4,01                   |
| 5     | Средняя плотность, г/см <sup>3</sup>                                                 | Не нормируется                                      | ГОСТ 12801-98 (пункт 7.2)                                                                                     | 2,29                   |
| 6     | Слеживаемость, число ударов, не более                                                | 5                                                   | ГОСТ 12801-98 (п. 6.1.5, раздел 25)                                                                           | 3                      |
| 7     | Коэффициент водостойкости (TSR)                                                      | Для набора статистических данных                    | ГОСТ Р 58401.18-2019                                                                                          | 0,74                   |
| 8     | Предел прочности при сжатии при температуре 20 °С, МПа для холодных и горячих смесей | Требования ГОСТ 91282009: не менее 1,5 не менее 2,5 | ГОСТ 12801-98                                                                                                 | 1,6                    |

Одной из характерных особенностей холодного асфальтобетона с использованием органоминерального порошка из осадка сточных вод является способность оставаться рыхлым (неслеживающимся) в течение длительного срока после приготовления (до 6 и более месяцев).

**Выводы.** Ямочный ремонт асфальтобетонных покрытий – это важная часть содержания дорожной инфраструктуры, которая требует постоянного обновления методов и технологий. Современные подходы, включающие использование холодных асфальтобетонов, позволяют не только повысить качество и долговечность ремонтов, но и оптимизировать использование ресурсов. В качестве материала для ремонта покрытий предлагается использовать холодную асфальтобетонную смесь на основе органоминерального порошка из осадков сточных вод. Результаты испытаний готовой к применению холодной асфальтобетонной смеси позволяют сделать вывод о повышенных характеристиках материала, а также смесь обладает высокими адгезионными показателями.

#### Список источников

1. Отечественный и зарубежный опыт. Материалы и технологии для ремонта выбоин дорожного асфальтобетонного покрытия: информационный сборник / [С.В. Полякова, А.В. Чванов, А.С. Козин, Ю.В. Тактарова]; М-во трансп. Рос. Федерации, Рос. дорожный науч.-исследовательский ин-т. – Казань: Бук, 2020. – 134 с.
2. Круглогодичный ямочный ремонт дорог с использованием мобильных асфальтосмесительных установок / А.В. Курлыкина, О.И. Мухитова, В.А. Токарев, Е.В. Харламов // Современное состояние, проблемы и перспективы развития отраслевой науки: материалы VIII Всероссийской конференции с международным участием, Москва, 23-24 ноября 2023 года. – М.: Издательско-торговая корпорация "Дашков и К", 2023. – С. 99-101.
3. Полякова С.В. Патчи – материалы нового поколения для долговременного ремонта покрытий /

С.В. Полякова, А.С. Козин // Мир дорог. – 2020. – № 132. – С. 47-52.

4. Ярмолинский В.А. Применение холодных асфальтобетонных смесей при ямочном ремонте дорожных покрытий / В.А. Ярмолинский, А.А. Парфенов // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). – 2022. – № 2(69). – С. 101-107.

5. Калгин Ю.И. Технологические показатели и область применения специальных асфальтобетонных смесей при ремонте дорожных покрытий в холодные периоды года / Ю.И. Калгин, Н.И. Паневин, А.С. Строкин // Научный журнал строительства и архитектуры. – 2018. – № 4(52). – С. 74-82.

#### References

1. Domestic and foreign experience. Materials and technologies for repairing potholes in asphalt concrete road surfaces: information collection / [S.V. Polyakova, A.V. Chvanov, A.S. Kozin, Yu.V. Taktarova]; Ministry of Transport of the Russian Federation, Russian Road Research Institute. — Kazan: Buk, 2020. — 134 p.
2. Year-round pothole repair of roads using mobile asphalt mixing plants / A.V. Kurlykina, O.I. Mukhitova, V.A. Tokarev, E.V. Kharlamov // Current state, problems and prospects for the development of industry science: Proceedings of the VIII All-Russian Conference with International Participation, Moscow, November 23-24, 2023. – M.: Publishing and Trading Corporation "Dashkov i K", 2023. – P. 99-101.
3. Polyakova S.V. Patches – new generation materials for long-term repair of pavements / S.V. Polyakova, A.S. Kozin // World of Roads. – 2020. – No. 132. – P. 47-52.
4. Yarmolinsky V.A. Use of cold asphalt concrete mixtures in pothole repair of road surfaces / V.A. Yarmolinsky, A.A. Parfenov // Bulletin of the Moscow Automobile and Road State Technical University (MADI). – 2022. – No. 2 (69). – P. 101-107.
5. Kalgin Yu. I. Technological indicators and scope of application of special asphalt concrete mixtures in the repair of road surfaces during cold periods of the year / Yu. I. Kalgin, N. I. Panevin, A. S. Strokin // Scientific journal of construction and architecture. – 2018. – No. 4 (52). – P. 74-82.

*Статья поступила в редакцию 08.09.2024*

#### Информация об авторе

**Бизирка Ирина Ивановна**, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Промышленное, гражданское строительство и архитектура» Луганского государственного университета имени Владимира Даля, г. Луганск.  
Автор ID: 1184032, SPIN-код: 5310-0225  
E-mail: bizirkaira@mail.ru

#### Information about the author

**Bizirka Irina Ivanovna**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of «Industrial, Civil Engineering and Architecture», Lugansk State named after Vladimir Dahl, Lugansk.  
Author ID: 1184032, SPIN-код: 5310-0225  
E-mail: bizirkaira@mail.ru.

---

**Для цитирования:**

Бизирка И.И. Современные способы ямочного ремонта асфальтобетонных покрытий // Вестник Луганского государственного университета имени Владимира Даля. – 2024. – № 12(90). – С. 18-21.

**For citation:**

Bizirka I.I. Modern methods of pothole repair of asphalt concrete pavements // Vestnik of Lugansk State University named after Vladimir Dahl. – 2024. – № 12(90). – P. 18-21.

---

УДК 624.05

## ЭФФЕКТИВНОЕ РЕШЕНИЕ ЖИЛИЩНОЙ ПРОБЛЕМЫ ЛУГАНСКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ ЗА СЧЕТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МОДУЛЬНОБЛОЧНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

Бизирка И. И., Гудкова Е. А.

## MODERN METHODS OF POTHOLE REPAIR OF ASPHALT-CONCRETE PAVEMENTS

Bizirka I. I., Gudkova E. A.

**Аннотация.** В статье рассматриваются вопросы эффективного решения жилищной проблемы Луганской Народной Республики за счет использования модульно-блочного строительства.

В республике остро стоит проблема жилого фонда. Одним из путей решения является возведение зданий в кратчайшие сроки. Применение модульной технологии позволяет значительно сократить время строительства зданий.

В статье приведены основные преимущества использования модульно-блочного строительства.

**Ключевые слова:** модульное строительство, модульно-блочные здания, эффективность, унификация, объемные блоки.

**Abstract.** The article discusses the issues of effective solution of the housing problem of the Lugansk People's Republic by using modular block construction.

The republic has an acute problem of housing stock. One of the solutions is to erect buildings in the shortest possible time. The use of modular technology allows to significantly reduce the time of construction of buildings.

The article presents the main advantages of using modular block construction.

**Key words:** modular construction, modular block buildings, efficiency, unification, volumetric blocks.

**Введение.** Модульно-блочные здания стали популярным решением в различных сферах, включая жильё, образование и промышленность.

Элементы модульных быстровозводимых зданий производятся на заводах и доставляются к месту строительства с помощью автомобильного, железнодорожного или водного транспорта. Срок возведения такого дома с отделкой и инженерными системами составляет всего от 3 до 6 месяцев. Его значительным преимуществом является возможность проведения строительных работ в любое время года.

Для Луганской Народной Республики (ЛНР), где в последние годы наблюдается необходимость в быстром и эффективном строительстве, такие конструкции могут стать оптимальным вариантом.

**Целью работы является** подробное изучение и анализ актуальных методов и технологий при строительстве зданий и сооружений из модульно-блочных конструкций.

**Результаты и обсуждения.** В XX веке в мире наблюдался стремительный рост индустриального строительства с использованием железобетона. В 60-70-е годы данный вид строительства занял значительную долю на рынке нового жилья благодаря своей сравнительно низкой стоимости и высоким темпам возведения.

Один из первых образцов модульного строительства является комплекс «Хабитат 67» (Канада), разработанный архитектором Моше Сафди (рис. 1).

В СССР с успехом использовалось объемно-блочное домостроение. Оно было одним из самых перспективных методов, который обеспечивало значительные темпы возведения жилых зданий. В Краснодарском крае и по сей день работает и развивается завод «ОБД». Этот завод был образован в 1974 г. для выпуска железобетонных объемно-блочных элементов для строительства жилых домов серии БКР-2.



Рис. 1. Жилой комплекс «Хабитат 67»



Рис. 2. Объемный блок



Рис. 3. Монтаж жилого дома из объемных блоков

Исследование зарубежного и отечественного опыта свидетельствует о том, что модульное строительство демонстрирует высокую эффективность в ситуациях, когда особенно важны скорость возведения, экономичность и мобильность конструкции.

В публикациях [1-5] приведены преимущества модульной конструкции. Отмечаются высокая технологичность и безопасность строительных работ, сокращение

количества самих технологических процессов и уменьшение строительных отходов, высокое качество работ, уменьшение количества трудовых ресурсов на строительной площадке.

Модульно-блочные здания собираются из заранее готовых модулей, которые изготавливаются на заводе. Это позволяет существенно сократить время, необходимое для возведения объекта. В условиях ЛНР, когда большое количество жителей нуждаются в

жилье, такая скорость возведения зданий является важным фактором.

Благодаря технологии массового производства модулей, снижаются затраты на строительство. Это также позволяет уменьшить количество отходов и оптимизировать использование материалов, что особо актуально в условиях ограниченных ресурсов.

Модульно-блочные здания легко адаптируются под различные нужды. Их можно объединять или модифицировать в зависимости от требований, что делает их идеальными для таких объектов, как жилые здания, школы, больницы или временное жилье для переселенцев.

Современные модульные конструкции могут быть спроектированы с учетом энергоэффективности, что позволяет снизить затраты на отопление и кондиционирование, а также уменьшить воздействие на окружающую среду.

Современные технологии позволяют создавать модульно-блочные здания, которые могут противостоять неблагоприятным климатическим условиям, включая сильные ветры, осадки и даже сейсмические нагрузки.

**Выводы.** Модульно-блочные здания представляют собой эффективное, экономичное и быстрое решение для нужд Луганской Народной Республики. Их применение может существенно улучшить жилищные и социальные условия населения и способствовать восстановлению экономики региона.

#### Список источников

1. Курманова Е.Е., Таратута В.Д. Модульные здания: преимущества и недостатки // Вестник науки. – 2020. – Т. 3, № 6(27). – С. 158-160.
2. Боровская С.Г., Козинская Д.О. Проблемы и преимущества модульного строительства // Молодежный исследовательский потенциал 2023: сборник статей Международного научно-исследовательского конкурса, Петрозаводск, 23 февраля 2023. – Петрозаводск: Международный центр научного партнерства «Новая Наука», 2023. – С. 374-379.
3. Абрамян С.Г., Оганесян О.В., Галда З.Ю., Дикмеджян А.А. Преимущества, недостатки и

перспективы применения объемных блок-модулей в строительстве: обзор зарубежной научной литературы // Актуальные проблемы и перспективы развития строительного комплекса: сборник трудов Международной научно-практической конференции: в 2 ч., Волгоград, 01-02 декабря 2020. – Часть 1. – Волгоград: Волгоградский государственный технический университет, 2020. – С. 138-142.

4. Аушева К.В., Петроченко М.В. Определение алгоритма оценки эффективности модульного строительства // Неделя науки ИСИ: сборник материалов Всероссийской конференции. – 2022. – С. 143-145.

5. Шевцов С.В., Астафьева Н.С. Концепция модульного строительства на примере использования легких металлических конструкций // Инженерные исследования. – 2022. – № 3(8). – С. 30-37.

#### References

1. Kurmanova E.E., Taratuta V.D. Modular buildings: advantages and disadvantages // Bulletin of science. – 2020. – Vol. 3, No. 6 (27). – P. 158-160.
2. Borovskaya S.G., Kozinskaya D.O. Problems and advantages of modular construction // Youth research potential 2023: Collection of articles of the International research competition, Petrozavodsk, February 23, 2023. – Petrozavodsk: International Center for Scientific Partnership "New Science", 2023. – P. 374-379.
3. Abramyan S.G., Oganessian O.V., Galda Z.Yu., Dikmedzhyan A.A. Advantages, disadvantages and prospects for the use of volumetric block modules in construction: a review of foreign scientific literature // Actual problems and prospects for the development of the construction complex: collected papers of the International scientific and practical conference: in 2 parts, Volgograd, December 01-02, 2020. Volume Part 1. – Volgograd: Volgograd State Technical University, 2020. – P. 138-142.
4. Ausheva K.V., Petrochenko M.V. Definition of an algorithm for assessing the effectiveness of modular construction // Science Week of ISI: Collection of materials of the All-Russian conference. – 2022. – P. 143-145.
5. Shevtsov S.V., Astafieva N.S. The concept of modular construction on the example of the use of light metal structures // Engineering research. – 2022. – No. 3(8). – P. 30-37.

*Статья поступила в редакцию 18.09.2024*

---

**Информация об авторе**

**Бизирка Ирина Ивановна**, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Промышленное, гражданское строительство и архитектура» Луганского государственного университета имени Владимира Даля, г. Луганск.  
*Автор ID: 1184032, SPIN-код: 5310-0225*  
**E-mail:** bizirkaira@mail.ru

**Гудкова Елена Анатольевна**, старший преподаватель кафедры «Промышленное, гражданское строительство и архитектура» Луганского государственного университета имени Владимира Даля, г. Луганск.  
**E-mail:** gudkovaelenapgsia@mail.ru

**Information about the authors**

**Bizirka Irina Ivanovna**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of «Industrial, Civil Engineering and Architecture», Lugansk State named after Vladimir Dahl, Lugansk.  
*Author ID: 1184032, SPIN-код: 5310-0225*  
**E-mail:** bizirkaira@mail.ru

**Gudkova Elena Anatolyevna**, senior teacher of the Department of «Industrial, Civil Engineering and Architecture», Lugansk State named after Vladimir Dahl, Lugansk.  
**E-mail:** gudkovaelenapgsia@mail.ru

---

**Для цитирования:**

Бизирка И.И., Гудкова Е.А. Современные способы ямочного ремонта асфальтобетонных покрытий // Вестник Луганского государственного университета имени Владимира Даля. – 2024. – № 12(90). – С. 22-25.

**For citation:**

Bizirka I.I., Gudkova E.A. Modern methods of pothole repair of asphalt concrete pavements // Vestnik of Lugansk State University named after Vladimir Dahl. – 2024. – № 12(90). – P. 22-25.

---

УДК 691.327:620.193.001.57

## О ВОЗМОЖНОСТИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ БЕТОНОВ

Гудкова Е. А., Хвортова М. Ю., Бизирка И. И.

## ON THE POSSIBILITY OF FORECASTING CONCRETE LEACHING PROCESSES

Gudkova E. A., Khvortova M. Yu., Bizirka I. I.

**Аннотация.** Излагаются принципиальная схема механизма коррозии бетона в условиях выщелачивания и построение математической модели процессов выщелачивания. Разработаны методика проведения экспериментальных исследований и инженерная методика оценки технического состояния и прогнозирования долговечности бетонов в условиях выщелачивания.

**Ключевые слова:** процессы коррозии, выщелачивание бетона, массоперенос, капилляр, долговечность.

**Abstract.** The basic scheme of the mechanism of concrete corrosion under leaching conditions and the construction of a mathematical model of leaching processes are presented. A methodology for conducting experimental studies and an engineering methodology for assessing the technical condition and predicting the durability of concrete under leaching conditions are developed.

**Key words:** corrosion processes, concrete leaching, mass transfer, capillary, durability.

**Введение.** В настоящее время множество сооружений эксплуатируются в условиях коррозионных воздействий, в частности, водной среды. Это различные мостовые и берегоукрепительные конструкции, плотины ГЭС, канализационные и очистные сооружения [2, 8]. Возникает необходимость на основе разработанной математической теории процессов коррозии в исследовании процессов выщелачивания бетонов.

Процессы выщелачивания исследовались применительно к оценке долговечности плотин, железобетонных водоводов, резервуаров и т. п. В них рассматривались различные схемы процесса и предлагались зависимости для их качественного описания. В исследованиях последующих лет было установлено, что действительная схема процессов выщелачивания связана с образованием вокруг капилляров расширяющегося цилиндрического фронта коррозии (выщелачивания) [1-4]. Решение задачи процессов выщелачивания приведено в работе [3]. На основе полученного решения предлагаются расчетные зависимости, методика обработки результатов проведения экспериментов [5, 6]. Анализ различных методик экспериментального определения характеристик выщелачивания показал, что

наиболее целесообразно использовать в исследованиях методику, предусмотренную ГОСТ 91114 и ИСО-6961.

**Материалы и методы.** Математическая модель процессов выщелачивания разработана на тех же исходных предпосылках, что и модели коррозии более общего вида [4, 10]:

- в бетоне, представляющем капиллярно-пористое тело, выделяется структурный элемент, в котором процессы коррозии протекают со средней скоростью, как в бетоне;
- структурный элемент имеет радиус  $R_0$ , в нем располагается сквозной капилляр, имеющий радиус  $r_0$ . К сквозному капилляру примыкают капилляры радиального направления, часть из которых соединяется с растворимыми частицами;
- принимается, что при массопереносе раствора происходит образование подвижного фронта коррозии в радиальном направлении, которое учитывается введением в исходное уравнение функции источника. В общем случае она является нелинейной;
- для получения удобных для практического использования зависимостей путем введения поправочных коэффициентов строится полуэмпирическая модель.

Из-за простоты и чисто физического характера процессов выщелачивания их исследованиям уделялось мало внимания. Однако имеется несколько важных причин, по которым данные исследования приобретают особую важность.

Во-первых, из решений процессов коррозии бетона в жидких агрессивных средах следует, что в случае концентрации агрессивного вещества, равной нулю, подвижный фронт выщелачивания остается линейным, а зависимость его перемещения от времени пропорциональна. В то же время анализ многочисленных экспериментальных данных показал, что это не так. В действительности процесс описывается логарифмической зависимостью. Объяснение указанному факту было дано в работах [1-4]. Оно объясняется фактом образования вокруг капилляров цилиндрического подвижного фронта коррозии. Вместе с тем оставался неизученным вопрос о возможности использования указанной зависимости для больших значений времени, что представляет практический интерес.

Во-вторых, процессы выщелачивания являются составным элементом других видов коррозии.

В работах [4, 9, 10] излагается разработанная теория процессов выщелачивания, основанная на схеме образования цилиндрического подвижного фронта выщелачивания вокруг капилляров.

В основу разработанной методики экспериментальных исследований [5-7] принималась схема одномерного процесса выщелачивания в дистиллированной воде. Указанное достигалось созданием изоляции боковой поверхности изолированного бетонного образца. При открытых торцевых поверхностях ось симметрии является непроницаемой границей.

Постановка соответствующей краевой задачи имеет вид:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} \pm q(t). \quad (1)$$

Решение (1) при краевых условиях:

$$t = 0, C = C_n; \quad x = 0, \quad \frac{\partial C}{\partial x} = 0;$$

$$x = \lambda, \quad D \frac{\partial C}{\partial x} + \alpha(C - C_0) = 0;$$

имеет

вид:

$$C(x, t) = C_0 + \sum_{n=1}^{\infty} (C_n - C_0) k_n \lambda^{-D \lambda_n^2 t} \cos \lambda_n x + \sum_{n=1}^{\infty} m_o \mu_o \lambda^{-D \lambda_n^2 \left( t + \frac{r_o^2}{R} \right)} \times \\ \times \left\{ Ei \left[ D \lambda_n^2 \left( t + \frac{r_o^2}{R} \right) \right] - Ei \left( D \lambda_n^2 \frac{r_o^2}{R} \right) \right\} \cos \lambda_n x$$

$n = 1, 2, 3, \dots$ ,

где  $Ei$  – интегральная показательная функция.

Указанное справедливо для обычно выполняемых экспериментов. Тогда:

$$C(\lambda, t) \approx \sum_{n=1}^{\infty} m_o \mu_o k_n \lambda^{-D \lambda_n^2 \left( t + \frac{r_o^2}{R} \right)} \lambda n \gamma \left( \frac{Rt}{r_o^2} + 1 \right) \cos \lambda_n \lambda.$$

Поскольку для таких условий значение экспоненты близко к единице, изменение величины  $C(\lambda, t)$  описывается логарифмической зависимостью.

Методикой предусмотрено также исследование процессов капиллярного впитывания, образования и передвижения фронта выщелачивания, проверка соответствия теории с экспериментальными данными для  $t \approx 4 \dots 5 \text{ мес.}$  Данная методика

экспериментальных исследований проверена серией экспериментов.

Однако для практических целей [6] более целесообразно использовать полуэмпирическую зависимость вида:

$$X_c = A \ln(\alpha t + 1), \quad (2)$$

где  $X_c$  – глубина нейтрализации бетона;

$A$  – экспериментально определяемый поправочный коэффициент, учитывающий реальные граничные условия;

$\alpha$  – обобщенный параметр.

**Выводы.** 1. Разработана методика, которая позволяет вычислять количественные характеристики процессов выщелачивания.

2. Установлено, что процессы выщелачивания связаны с образованием цилиндрического фронта коррозии и при малых значениях продолжительности эксперимента описываются зависимостью логарифмического типа.

3. Показано, что разработанная математическая модель обеспечивает достаточную для практических целей точность расчетов. При этом разработанная на основе модели полуэмпирическая зависимость позволяет в значительной степени упростить подготовку исходных данных и методику инженерных расчетов долговечности за счет исключения системы поправочных коэффициентов, определяемых опытным путем в каждом конкретном случае.

#### Список источников

1. Гусев Б.В., Файвусович А.С., Степанова В.Ф., Розенталь Н.К. Математическая модель процессов коррозии в жидких средах // Изв. вузов. «Строительство» – 1998. №4-5. – С. 56-60.
2. Файвусович А.С., Довгань И.В., Гудкова Е.А. Коррозия бетонов надземных портовых сооружений // Материалы международной конференции «К 75-летию ОГАСА», вып. №20. – Одесса: «Город мастеров», 2005. – С. 368-377.
3. Файвусович А.С., Гудкова Е.А. Физико-математическая модель процессов выщелачивания бетонов // Материалы международной конференции «К 75-летию ОГАСА», вып. №20. – Одесса: «Город мастеров», 2005. – С. 361-367.
4. Гусев Б.В., Файвусович А.С. Основы математической теории процессов коррозии бетонов. – М.: «Научный мир», 2006. – 40 с.
5. Гудкова Е.А. Методика исследования процессов выщелачивания бетонов // Сб. ЛНАУ. Технические науки (Строительство) №71(94). – Луганск: Издательство ЛНАУ, 2007. – С. 153-157.
6. Гудкова Е.А. К расчету процессов выщелачивания бетонов // Материалы международной конференции ОГАСА, вып. №33. – Одесса: «Внешрекламсервис», 2009. – С. 181-185.
7. Гудкова Е.А., Файвусович А.С. Основные закономерности процессов выщелачивания бетонов // Сб. ЛНАУ. Технические науки (Строительство) №14. – Луганск: Издательство ЛНАУ - «Луга-Принт», 2010. – С.196-203.
8. Левадная С.И. Прогнозирование долговечности бетона плотин ГЭС при фильтрации // Сб. ЛНАУ. Технические науки (Строительство) №14. – Луганск: Изд-во ЛНАУ, 2010. – С. 238-249.
9. Гусев Б.В., Файвусович А.С. Построение математической теории процессов коррозии бетона // Строительные материалы. – 2008. №3. – М. – С. 38-41.
10. Гусев Б.В., Файвусович А.С. (при участии Левадной С.И., Гудковой Е.А.) Прогнозирование долговечности бетона при выщелачивании. – М: Издательство «Научный мир», 2014. – 112 с.

#### References

1. Gusev B.V., Faivusovich A.S., Stepanova V.F., Rozental N.K. Mathematical model of corrosion processes in liquid media // News of universities. "Construction". 1998. – No. 4-5. – pp. 56-60.
2. Faivusovich A.S., Dovgan I.V., Gudkova E.A. Corrosion of concrete of above-ground port structures // Proceedings of the international conference "On the 75th anniversary of the OGASU", issue. No. 20. – Odessa: "City of Masters", 2005. – pp. 368-377.
3. Faivusovich A.S., Gudkova E.A. Physical and mathematical model of concrete leaching processes // Proceedings of the international conference "On the 75th anniversary of the OGASU", issue. №20. – Odessa: "City of Masters", 2005. – pp. 361-367.
4. Gusev B.V., Faivusovich A.S. Fundamentals of the mathematical theory of concrete corrosion processes. – Moscow: "Scientific World", 2006. – 40 p.
5. Gudkova E.A. Methodology for studying concrete leaching processes // Coll. LNAU. Technical Sciences (Construction) №71(94). – Lugansk: LNAU Publishing House, 2007. – pp. 153-157.
6. Gudkova E.A. On the calculation of concrete leaching processes // Proceedings of the international conference OGASU, issue. №33 – Odessa: "Vneshreklamsservis", 2009. – pp. 181-185.
7. Gudkova E.A., Faivusovich A.S. Basic regularities of concrete leaching processes. // Coll. LNAU. Technical sciences (Construction) No. 14. – Lugansk: LNAU Publishing House – "Luga-Print", 2010. – pp. 196-203.
8. Levadnaya S.I. Forecasting the durability of concrete dams of hydroelectric power plants during filtration // Coll. LNAU. Technical sciences (Construction) No. 14. – Lugansk: LNAU Publishing House, 2010. – pp. 238-249.
9. Gusev B.V., Faivusovich A.S. Construction of a mathematical theory of concrete corrosion processes // Construction materials. – 2008. – No. 3. M. – pp. 38-41.
10. Gusev B.V., Faivusovich A.S. (with the participation of Levadnaya S.I., Gudkova E.A.) Forecasting the durability of concrete during leaching. – Moscow: Publishing House "Scientific World", 2014. – 112 p.

Статья поступила в редакцию 11.10.2024

**Информация об авторах**

**Гудкова Елена Анатольевна**, старший преподаватель кафедры промышленного, гражданского строительства и архитектуры института строительства, архитектуры и жилищно-коммунального хозяйства Луганского государственного университета имени Владимира Даля, г. Луганск.  
**E-mail:** gudkovaelenapgsia@mail.ru

**Хвортова Марина Юрьевна**, кандидат технических наук, доцент, заведующая кафедрой промышленного, гражданского строительства и архитектуры института строительства, архитектуры и жилищно-коммунального хозяйства Луганского государственного университета имени Владимира Даля, г. Луганск.  
*Автор ID:* 1228705, *SPIN-код:* 1203-2172  
**E-mail:** mkhvortova@mail.ru

**Бизирка Ирина Ивановна**, кандидат технических наук, доцент кафедры промышленного, гражданского строительства и архитектуры института строительства, архитектуры и жилищно-коммунального хозяйства Луганского государственного университета имени Владимира Даля, г. Луганск.  
*Автор ID:* 1184032, *SPIN-код:* 5310-0225  
**E-mail:** bizirkaira@mail.ru

**Information about the authors**

**Gudkova Elena Anatolyevna**, Senior Lecturer, Department of Industrial, Civil Engineering and Architecture, Institute of Construction, Architecture and Housing and Public Utilities Lugansk State named after Vladimir Dahl, Lugansk.  
**E-mail:** gudkovaelenapgsia@mail.ru

**Khvortova Marina Yuryevna**, PhD, Associate Professor, Head of the Department of Industrial, Civil Construction and Architecture, Institute of Construction, Architecture and Housing and Public Utilities Lugansk State named after Vladimir Dahl, Lugansk.  
*Автор ID:* 1228705, *SPIN-код:* 1203-2172  
**E-mail:** mkhvortova@mail.ru

**Bizirka Irina Ivanovna**, PhD, Associate Professor of the Department of Industrial, Civil Construction and Architecture, Institute of Construction, Architecture and Housing and Public Utilities Luhansk State University named after Vladimir Dahl.  
*Автор ID:* 1184032, *SPIN-код:* 5310-0225  
**E-mail:** bizirkaira@mail.ru

**Для цитирования:**

Гудкова Е.А., Хвортова М.Ю., Бизирка И.И. О возможности прогнозирования процессов выщелачивания бетонов // Вестник Луганского государственного университета имени Владимира Даля. – 2024. – № 12(90). – С. 26-29.

**For citation:**

Gudkova E.A., Khvortova M.Yu., Bizirka I.I. On the possibility of predicting concrete leaching processes // Vestnik of Lugansk State University named after Vladimir Dahl. – 2024. – № 12(90). – P. 26-29.

УДК 691.327:620.193.001.57

## РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОЦЕССОВ ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ БЕТОНОВ

Гудкова Е. А.

## RESULTS OF EXPERIMENTAL STUDIES OF CONCRETE LEACHING PROCESSES

Gudkova E. A.

**Аннотация.** Излагается методика и результаты экспериментальных исследований процессов выщелачивания бетонов. Показана возможность использования полученных результатов для прогнозирования долговечности бетонов.

**Ключевые слова:** процессы выщелачивания бетонов, граница нейтрализации, прогнозирование, долговечность.

**Abstract.** The methodology and results of experimental studies of concrete leaching processes are presented. The possibility of using the obtained results to predict the durability of concrete is shown.

**Key words:** concrete leaching processes, neutralization limit, forecasting, durability.

**Введение.** В настоящее время для описания процессов коррозии используются модели двух типов: построенные в рамках диффузионной кинетики и макрокинетики [1-4]. В моделях первого типа принимается, что процесс лимитируется процессами диффузии, в моделях второго типа учитываются различные стадии процесса. Модели обоих типов основываются на расчетной схеме (1D). Именно по этой причине в моделях первого типа требуется использование значительного числа поправочных коэффициентов, а в моделях второго – учет значительного числа стадий процесса коррозии. При переходе к расчетной схеме (3D) подтверждается предположение о лимитировании процессов выщелачивания диффузионным переносом. Показано, что на микроуровне они сводятся к задачам типа Стефана. В работах [5, 6] рассмотрены частные случаи процессов выщелачивания.

**Методика исследований.** При разработке методики экспериментальных исследований учитывается, что границе растворения соответствует значение функции  $\operatorname{erfu} \approx 1.0$ , поэтому исходная зависимость для расчетов может быть существенно упрощена [1, 2]:

$$\begin{aligned} C_d &= A \ln(\alpha t + 1), \\ \alpha &= \frac{a_2}{b}; \end{aligned} \quad (1)$$

где  $C_d$  – концентрация выщелоченного компонента цементного камня в дистиллированной воде;

$A$  – экспериментально определяемый поправочный коэффициент, учитывающий реальные граничные условия.

Соответственно, глубина нейтрализации определяется из зависимости

$$\eta_n = \frac{C_d V_d}{F m_o}, \quad (2)$$

где  $C_d, V_d$  – концентрация выщелоченного вещества и объем растворителя (дистиллированной воды). Зависимость (1), если рассматривать величину  $\alpha$  как обобщенный параметр, можно рассматривать и в качестве полуэмпирической двухпараметрической модели, используемой для практических целей.

Определение параметров  $A$  и  $\alpha$  экспериментальным путем исключает необходимость введения дополнительных поправочных коэффициентов и позволяет, как показали результаты экспериментальных исследований, достичь высокой точности результатов. Дополнительно укажем, что граница нейтрализации определяется по фенолфталеиновой пробе.

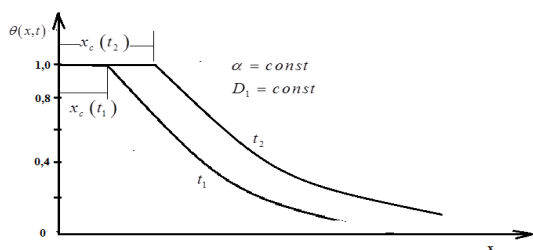


Рис. 1. Схема зависимости  $\theta(x, t)$  от параметров процесса

В работе [1] показано, что она соответствует показателю  $pH = 7,5$ . Поэтому определяемые по зависимостям (1, 2) значения должны быть скорректированы с учетом указанного. Однако ввиду малой величины протяженности переходной зоны погрешность в большинстве случаев незначительна.

Результаты собственных экспериментальных исследований и аналогичных исследований других авторов приведены в работе [4]. Соответственно результаты обработки исследований кислотного выщелачивания приведены в работе [1].

Обстоятельный обзор зарубежных работ наряду с собственными исследованиями в области выщелачивания бетона плотин прежде всего в мягких водах содержится в работах [6-8]. Например, для климатических условий Швеции и Норвегии указанные исследования особенно актуальны из-за сезонных поступлений талой воды. В указанных исследованиях затронут широкий круг вопросов, начиная от растворимости ионов  $Ca_5^{2+}$  в присутствии ионов  $Na^2$  и  $K^+$ , последовательности растворения химических компонентов цементной матрицы, кинетики процессов выщелачивания в зависимости от скорости фильтрации, состава бетонов, пористости и т.д.

Рассматриваются также процессы выщелачивания бетона в трещинах, причем отмечается, что при малой ширине раскрытия трещин имеется начальный гидравлический напор, при котором возникает процесс фильтрации. В целом рассматриваются одномерные процессы фильтрации, причем капиллярная пористость учитывается косвенно, в т.ч. по величине  $\frac{w}{c}$  отношения.

Во всех случаях достигается высокая точность расчетов по рекомендованным зависимостям. Ниже для иллюстрации

возможностей предлагаемой методики расчетов приведены итоги обработки результатов исследований выщелачивания радионуклидов, приведенных в работе [3]. Они показаны на рис. 2.

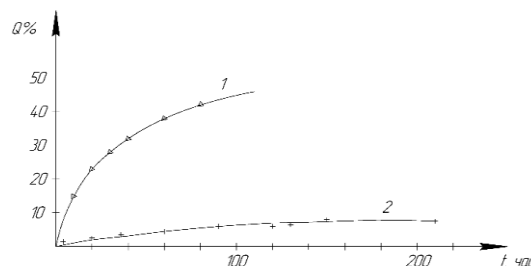


Рис. 2. Выщелачивание радионуклидов Cs – 137 из бетона:

1 – бетон контрольного состава; 2 – радиационно-стойкий бетон;

$Q$  – суммарная доля нуклида, перешедшего в выщелачиваемую воду

$$Q_1 = 15,715 \ln(0,17t + 1);$$

$$Q_2 = 1,864 \ln(0,2t + 1)$$

Для случаев выщелачивания радионуклидов америция (Am-241), стронция (Sr-90) и плутония (Pu-239) соответственно было получено:

$$Q_1 = 0,139(0,216t + 1);$$

$$Q_2 = 5,74 \cdot 10^{-2}(0,00694t + 1); \quad (3)$$

$$Q_3 = 0,093(0,1384t + 1).$$

Установлено, что отклонения экспериментальных данных и расчетных не превысили 7%. Дополнительно укажем, что в отдельных случаях при отсутствии тщательной обработки поверхностного слоя, представляющего слой цементного камня, процесс выщелачивания протекает для каждой из зон с различными скоростями. Таким образом, использование разработанной методики может быть успешно использовано для контроля процессов испытаний материалов согласно ГОСТ 91114.

В заключение отметим, что разработанные модели могут успешно использоваться для прогнозирования долговечности бетонов при выщелачивании, например, поверхностных слоев плотин ГЭС, различных мостовых и берегоукрепительных конструкций, канализационных и очистных сооружений и т.п. Действительно, одинаковым значением параметра  $\alpha t$  соответствуют равные значения  $h$ . Пусть после  $t_1$  лет эксплуатации измеренная величина  $h(t) = h_1$  и ему

соответствует значению  $\tilde{C} = C_p - C_1$  (здесь, как и ранее,  $C_p$  – растворимость в данной водной среде). Испытания этого же образца в дистиллированной воде (растворимость в дистиллированной воде равна  $C_{p,d}$ ) продолжительностью  $\Delta t$  соответствуют испытанию в натуральных условиях:

$$\Delta t_n = \frac{C_{p,d}}{C_p - C_1} \cdot \Delta t.$$

Как показано в работе [5], в определенных условиях  $\Delta t_n = 5 \dots 10$  лет.

**Результаты исследований.** Показано, что разработанная математическая модель обеспечивает достаточную для практических целей точность расчетов. При этом разработанная на основе модели полуэмпирическая зависимость позволяет в значительной степени упростить подготовку исходных данных и методику инженерных расчетов долговечности за счет исключения системы поправочных коэффициентов, определяемых опытным путем в каждом конкретном случае.

**Выводы.** 1. Приведена методика построения определяющих уравнений процессов выщелачивания. В частном случае исходная система приводится к одному уравнению. На основе линеаризованных уравнений получены аналитические решения.

2. Приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований. В ряде случаев они доведены до стадии инженерных расчетов.

#### Список источников

1. Гусев Б.В., Файвусович А.С. Физико-математическая модель процессов атмосферной коррозии бетона // Сб. ЛНАУ. Технические науки (Строительство) №14. – Луганск: Изд-во ЛНАУ, 2010. – С. 217-227.
2. Гусев Б.В., Файвусович А.С. Построение математической теории процессов коррозии бетона // Строительные материалы. – 2008. – №3. – С. 38-41.
3. Комахов П.Г., Александров Н.И. Наноструктурированный радиационностойкий бетон и его универсальность // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. – 2008. № 5(112) – С. 38-40.

4. Гудкова Е.А. К расчету процессов выщелачивания бетонов // Материалы международной конференции ОГАСА, вып. №33. – Одесса: «Внешэкономсервис», 2009. – С. 181-185.

5. Левадная С.И. Прогнозирование долговечности бетона плотин ГЭС при фильтрации // Сб. ЛНАУ. Технические науки (Строительство) №14. – Луганск: Изд-во ЛНАУ, 2010. – С. 238-249.

6. Гусев Б.В., Файвусович А.С. (при участии Левадной С.И., Гудковой Е.А.) Прогнозирование долговечности бетона при выщелачивании. – М: Издательство «Научный мир», 2014. – 112 с.

7. Ekström T. Leaching of Concrete // Lund Institute of Technology. – 2001. – p. 229.

8. G. Fagerlund. Leaching of Concrete. The leaching processes. Extrapolation of deterioration Effect on the structural stability // Lund Institute of Technology. Lund University Lund. – 2000. – p. 60.

#### References

1. Gusev B.V., Faivusovich A.S. Physical and mathematical model of atmospheric corrosion processes of concrete // Coll. LNAU. Technical sciences (Construction) No. 14. Publishing house of LNAU, Lugansk, 2010. – P. 217-227.

2. Gusev B.V., Faivusovich A.S. Construction of a mathematical theory of concrete corrosion processes // Construction materials. – 2008. – No. 3. – P. 38-41.

3. Komakhov P.G., Aleksandrov N.I. Nanostructured radiation-resistant concrete and its versatility // Construction materials, equipment, technologies of the XXI century. – No. 5 (112). – 2008. – P. 38-40.

4. Gudkova E.A. On the calculation of concrete leaching processes // Proceedings of the international conference of OGASU, issue No. 33. – Odessa: "Vnesheconomservice", 2009. – P. 181-185.

5. Levadnaya S.I. Forecasting the durability of concrete in hydroelectric dams during filtration // Coll. LNAU. Technical sciences (Construction) No. 14. LNAU Publishing House, Lugansk, 2010. – P. 238-249.

6. Gusev B.V., Faivusovich A.S. (with the participation of Levadnaya S.I., Gudkova E.A.) Forecasting the durability of concrete during leaching. – Moscow: Publishing House "Scientific World", 2014. – P. 112.

7. Ekström T. Leaching of Concrete // Lund Institute of Technology. – 2001. – p.229.

8. G. Fagerlund. Leaching of Concrete. The leaching processes. Extrapolation of determination Effect on the structural stability // Lund Institute of Technology. Lund University Lund. – 2000. – p. 60.

*Статья поступила в редакцию 18.09.2024*

---

**Информация об авторе**

**Гудкова Елена Анатольевна**, старший преподаватель кафедры промышленного, гражданского строительства и архитектуры института строительства, архитектуры и жилищно-коммунального хозяйства Луганского государственного университета имени Владимира Даля, г. Луганск.  
**E-mail:** gudkovaelenapgsia@mail.ru

**Information about the author**

**Gudkova Elena Anatolyevna**, Senior Lecturer, Department of Industrial, Civil Engineering and Architecture Institute of Construction, Architecture and Housing and Public Utilities Luhansk State University named after Vladimir Dahl  
**E-mail:** gudkovaelenapgsia@mail.ru

---

**Для цитирования:**

Гудкова Е.А. Результаты экспериментальных исследований процессов выщелачивания бетонов // Вестник Луганского государственного университета имени Владимира Даля. – 2024. – № 12(90). – С. 30-33.

**For citation:**

Gudkova E.A. Results of experimental studies of concrete leaching processes // Vestnik of Lugansk State University named after Vladimir Dahl. – 2024. – № 12(90). – P. 30-33.

---

УДК 625.878.06 (477.6)

## ХАРАКТЕРИСТИКА СТРУКТУРЫ БИТУМОПОЛИМЕРСЕРНЫХ ВЯЖУЩИХ С УЧЕТОМ КЛИМАТИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ РЕГИОНА

Коваленко А. В.

## CHARACTERISTICS OF THE STRUCTURE OF BITUMEN POLYMER BINDERS TAKING INTO ACCOUNT THE CLIMATIC CHARACTERISTICS OF THE REGION

Kovalenko A. V.

**Аннотация.** В статье рассмотрена технология применения модифицированных битумных композиций в асфальтобетонных смесях на основе использования в их составе полимерных вяжущих, содержащих различные функциональные группы. Затронуты вопросы обеспечения усталостной долговечности асфальтобетонных покрытий, большей устойчивости при технологическом старении, а также способности к быстрому снятию напряжений. Теоретически обоснована эффективность использования полимерно-битумных вяжущих с учетом влияния климатических факторов, обуславливающих процессы старения органического вяжущего, на трещиностойкость и колееобразование асфальтобетона в покрытии.

**Ключевые слова:** асфальтобетон, трещиностойкость, битум, полимеры, усталостная долговечность, дисперсионная среда, ассоциация.

**Abstract.** The article discusses the technology of using modified bitumen compositions in asphalt concrete mixtures based on the use of polymer binders containing various functional groups in their composition. The issues of ensuring the fatigue life of asphalt concrete coatings, greater stability during technological aging, as well as the ability to quickly relieve stress are discussed. The effectiveness of the use of polymer-bitumen binders is theoretically justified, taking into account the influence of climatic factors that cause the aging processes of organic binder on crack resistance and the formation of asphalt concrete in the coating.

**Key words:** asphalt concrete, crack resistance, bitumen, polymers, fatigue life, dispersion medium, association.

**Введение.** Комплексное воздействие, с одной стороны, динамических нагрузок, климатических факторов, агрессивных сред и низкого качества материалов, которые используются при строительстве дорог, часто может привести к преждевременным разрушениям асфальтобетонного покрытия. С другой стороны, слабость дорожных сетей непосредственно затрагивает национальную экономику. Но если влияние негативных факторов – неизбежное явление, то качество используемых материалов можно регулировать. Современная технология нефтепереработки, и в частности более глубокая переработка нефтяного сырья при производстве битумов, действительно ухудшает их эксплуатационные свойства. Поэтому использование модификаторов для нефтяных дорожных битумов является необходимым способом

создания высококачественных и долговечных асфальтобетонов на их основе.

Для того чтобы улучшить качество вяжущих битумов в России, следуя мировым трендам, начинают применять специальные модификаторы с использованием полимеров. Они помогают повысить устойчивость сцепления с поверхностью, стойкость покрытия к морозам или жаркой погоде. Тем не менее, при введении некоторых высокомолекулярных модификаторов возникают технологические проблемы, связанные, во-первых, с неравномерным распределением полимера в массе битума и, во-вторых, с недостаточным сцеплением щебня с покрытием, в результате чего в районах с интенсивным движением разрушается поверхностный слой.

В зависимости от технической категории дорог в нормативных документах России СНиП 2.05.02-85\* «Автомобильные дороги» сроки

между капитальным ремонтом дорожного покрытия составят 8-12 лет.

К основным характеристикам разрушения асфальтобетонных покрытий (в ЛНР их протяженность составляет 90 %, в городах 100 %) относятся: остаточные деформации в виде колеи, которые возникают обычно летом; пересекающие усталостные трещины в покрытии, образующиеся от действия многократных повторных нагрузок в основном весной и осенью, когда земляное полотно сильно увлажнено; низкотемпературные поперечные трещины, возникающие при сильном охлаждении покрытия [6, 10, 11].

Существуют многочисленные исследования представленных причин разрушения дорожного покрытия и их решения. На протяжении многих лет разрабатываются составы модифицированных асфальтобетонных смесей и инновационные технологии для их производства, что позволяет комплексно решить вопросы, касающиеся обеспечения нежесткой дорожной одежды и одновременно противостоять колейности, усталостному разрушению и трещиностойкости.

На сегодняшний день в методах расчета дорожных конструкций отображаются вопросы по обеспечению усталостной долговечности асфальтобетонных покрытий, в то время как влияние климатических факторов, которые вызывают процессы старения органического вяжущего, на трещиностойкость и колееобразование асфальтобетона изучены недостаточно полно. Вследствие чего обеспечение длительной трещиностойкости и усталостной долговечности асфальтобетона в покрытиях автомобильных дорог и пути улучшения его свойств применительно к климатическим условиям Донбасса на стадии строительства дорог являются актуальными задачами на сегодняшний день.

**Результаты и обсуждения.** В результате изучения и анализа имеющейся информации о составе, свойствах, назначении и области применения добавок предлагается такая классификация модифицирующих добавок для битумов. По основным классификационным признакам (вещественный состав, функциональное назначение и наименование основных составляющих веществ, химических соединений и активных компонентов) выделяют такие группы добавок. По вещественному составу: минеральные, органические, органоминеральные и

минерально-органические.

По функциональному назначению и влиянию на структуру и свойства битума можно выделить разжижающие, пластифицирующие, структурирующие-пластифицирующие, адгезионные, адгезионно-структурирующие и т.д. добавки. По наименованию основных составляющих веществ, химических соединений и активных компонентов минеральные добавки могут быть асбестовые, шлаковые, цементные, известковые, известняковые, фосфорсодержащие, серосодержащие и т.д.; низкомолекулярные органические – аминные, амидные, амидоаминные, имидазолиновые и т.д. [4, 12].

Теоретически проанализировав представленные модификаторы для битума, можно сделать вывод, что при производстве асфальтобетона чаще всего применяют добавки адгезионного характера. Использование этих добавок позволяет улучшить условия смачивания поверхности битумных минеральных материалов, образуя при этом абсорбционный слой, что позволяет уменьшить температуру и время получения однородной смеси, а также значительно снизить интенсивность процессов старения битума [8].

Самым распространенным и быстроразвивающимся в настоящее время, классом добавок для модификации битума являются полимеры. А. Srivastava (1992) [16] дал четкое определение полимера как высокомолекулярного соединения, состоящего из достаточного количества мономерных звеньев, которые соединены между собой.

Для производства полимерно-битумных вяжущих (ПБВ) чаще остальных используют такие полимеры, как каучуки (полибутадиеновый, натуральный, хлоропреновый, бутилкаучук), термопластичные полимеры (полиэтилен, полипропилен, этиленвинилацетат), серу, резиновую крошку, органомарганцевые компаунды, термопластичные каучуки (полиуретан, олефиновые сополимеры, блоксополимеры стирол-бутадиен-стирол) [2].

Механизм полимерных добавок характеризуется тем, что при добавлении полимера в дорожный битум создается трёхмерная пространственная эластичная структурная сетка. Л.М. Гохманом была представлена гипотеза о том, что состав полимера, при котором образуется простран-

ственная сетка в битуме, определяется способностью молекул к ассоциации [3]. Прочность структурной сетки может зависеть от прочности связей в узлах сетки, а эластичность – от гибкости цепей между узлами.

По способности макромолекул к ассоциации полимеры можно разделить на две группы:

1. Полимеры, макромолекулы которых определяются склонностью к ассоциации. К ним относят:

- полимеры, макромолекулы которых содержат функциональные группы ассоциаций с функциональными группами асфальтенов, образующие прочную пространственную структурную сетку благодаря взаимодействию последних между собой;

- блоксополимеры, макромолекулы которых содержат блоки, способные образовывать структурную сетку путем взаимодействия между собой или сопряженные с асфальтенами, формируя при этом физические связи.

2. Полимеры, макромолекулы которых не демонстрируют склонность к ассоциации. Макромолекулы таких полимеров формируют пространственную сетку путем случайных зацеплений и переплетения цепей [2].

Главной целью присоединения полимера к битуму является понижение температурной чувствительности вяжущего, т.е. снижение твердости зимой и увеличение летом, а также придание вяжущему эластичности. Если цель

будет достигнута, тогда асфальтобетон с применением ПБВ будет иметь повышенную сдвигоустойчивость, низкотемпературную трещиностойкость и усталостную долговечность.

Полимерно-битумные вяжущие получают путем растворения полимера в битуме или же при предварительном растворении полимера в специальном растворителе (индустриальном, сланцевом масле, дизельном топливе и др.), в дальнейшем смешивая битум с раствором полимера. Обязательным условием получения ПБВ является совместимость обоих компонентов, т.е. способность полимера растворяться или набухать в дисперсионной среде битума.

Приготовление битумов, модифицированных полимерами, предусматривает, чаще всего повышение температурного процесса (150-200 °С) и интенсивное перемешивание компонентов. Температура разложения наиболее часто используемых для модификации битумов полимеров (полиэтилена, полипропилена, этиленпропиленовых каучуков, термоэластопластов и др.) существенно превышает температуру сочетания их с битумом.

Разные по составу полимеры оказывают различное действие на модификацию битума. Классификация термопластов и эластомеров, используемых для модификации дорожных битумов, наглядно показана на рис. 1 и 2 [5].



Рис. 1. Классификация термоэластопластов, используемых для модификации битума



Рис. 2. Классификация эластомеров, применяемых для модификации битума

Главным преимуществом использования полимерных технологий является улучшение свойств адгезии между вяжущим и заполнителем. M.J. Khattak, G.Y. Baladi (2001) [15] провели исследования по изучению влияния модифицированного полимера, благодаря которому битум является более устойчивым к нагрузкам и менее чувствительным к перепадам температур. Кроме того, некоторые полимеры улучшают адгезию битума к каменному материалу и повышают устойчивость к трещиностойкости. Н. Bahia (1995) [13] провел исследования по изучению влияния модификации полимера с помощью сканирующего электронного микроскопа. Результаты исследования показали, что модифицированные асфальтобетонные смеси имеют хорошее сцепление, вяжущего с заполнителем, характеризующееся увеличением прочности.

С использованием комплекса современных экспериментальных методов изучены механизмы, явления и процессы, которые происходят в модифицированных системах. Известно, что модифицированные асфальтобетонные смеси отличаются увеличенной уплотняемостью в пределах температур 60-130°C (против 100-130°C для традиционных горячих асфальтобетонных смесей); энергоемкостью уплотнения модифицированных асфальтобетонов (в 2 раза ниже, чем в традиционных) они определяются более высокой устойчивостью при технологическом старении (в 10 раз меньше) и в 3 раза долговечнее при эксплуатационном старении.

В случае когда для традиционного асфальтобетона температура хрупкости составляет (-15) – (-17)°C (в Донбассе температура холодной однодневки -29°C), а переход в вязкотекучее состояние происходит при 40-50°C, тогда для модифицированных асфальтобетонов температура хрупкости составит -32°C, а переход в вязкотекучее состояние будет происходить при 75-80°C. Они более морозоустойчивы, более сдвигоустойчивы и определяются усталостной долговечностью в 3 раза выше, чем в традиционных асфальтобетонах [1].

Для повышения качества дорожных битумов (модификация), как правило, используют специально изготавливаемые искусственные материалы. В настоящее время существует большой выбор полимеров,

применяемых для модификации. Условно их можно классифицировать как термопласты (пластомеры); эластомеры и термоэластичные искусственные материалы. Эти добавки значительно отличаются по их физико-химическим характеристикам и, как ожидается, имеют широкое переменное влияние на производительность асфальтобетонных покрытий. Термопласты состоят из линейных или малоразветвленных полимеров, которые могут размягчаться при нагревании. В охлажденном состоянии они снова становятся твердыми. Пластомеры модифицируют битум, образуя жесткую твердую трехмерную сетку, чтобы противостоять деформациям, в то время как для эластомеров характерна высокая эластичная реакция, способствующая противостоянию постоянным деформациям растяжения и восстановлению их первоначальной формы. G.N. King and H.W. King (1986) [14] сообщили, что эластомеры характеризуются увеличением прочности при растяжении и имеют возможность восстанавливать исходное состояние после удаления приложенной нагрузки.

В конце прошлого века на Западе были сформированы основные положения о получении битумов, модифицированных полимерами [7, 9]. Они заключаются в следующем: эффективными модификаторами для битумов являются термоэластопластичные полимеры; замена в различных асфальтобетонах обычного битума битумом с добавкой полимера повышает их долговечность; в аспекте обеспечения желаемого уровня качества БМП перспективным является непосредственное введение полимеров в битум; при выборе компонентов БМП следует учитывать соотношение параметров его цены и качества.

Механизм регулирования свойств битума разными полимерами остается неизменным. Результаты модификации в каждом конкретном случае зависят от совместимости полимера и битума, их количественного соотношения и температурных режимов приготовления.

Связь между модифицированным асфальтовым вяжущим и эффективностью дорожного покрытия до сих пор изучается, однако ясно, что применение асфальтового вяжущего и модифицированного бетона является эффективным методом для предотвращения разрушения дорожного покрытия.

**Выводы.** В настоящее время для российского битумного производства является актуальным привлечение науки и разработка инновационных материалов. Большой вклад в изучение и исследование модифицирующих добавок внесли такие ученые, как В.Г. Хозин В.Г., А.В. Мурафа, В.Б. Балабанов, В.А. Золотарев, В.Д. Галдина, А.С. Колбановская, Л.М. Гохман, Б.С. Радовский, Е.М. Гурарий, А.Р. Давыдова и многие др. Также производство модификаторов для нефтяных дорожных битумов уже давно и очень плотно сотрудничает со многими сферами переработки и производства, при правильном подборе нормативный срок эксплуатации дорожных покрытий, построенных из модифицированных асфальтобетонных смесей, может составить 25-30 лет. Новые и эффективные модификаторы появляются как в химической, легкой и пищевой промышленности, так и в тяжелой при обработке металлов, руды и т.д. Создание производства новых материалов становится не частным сегментом, а полноценной системой развития новых технологий на сегодняшний день.

#### Список источников

1. Инновационные технологии ямочного ремонта покрытий внутригородских асфальтобетонных дорог литыми асфальтополимерсеробетонными смесями [Текст] / [В.И. Братчун, Д.В. Гуляк, В.Л. Беспалов, В.В. Горяинов, Р.В. Парашевин] // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры: сб. науч. трудов «Строительный комплекс и ЖКХ ДНР: развитие и эффективность в условиях нестабильной среды деятельности» – Макеевка: ДонНАСА, 2016. – С. 8-10.
2. Галдина В.Д. Модифицированные битумы. Учебное пособие. – Омск: СИБАДИ, 2009. 230 с.
3. Гохман Л.М. Комплексные органические вяжущие материалы на основе блоксополимеров типа СБС: учеб. пособие / Л.М. Гохман. – М.: ЗАО «ЭКОНИНФОРМ», 2004. – 584 с.
4. Гуреев А.А. Производство нефтяных битумов / А.А. Гуреев, Е.А. Чернышева, А.А. Коновалов, Ю.В. Кожевникова. – М.: РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2007. – 103 с.
5. Евдокимова Н.Г. Разработка научно-технологических основ производства современных битумных материалов как нефтяных дисперсных систем: автореферат д.т.н. – М., 2015 – 417с.
6. Золотарев В.А. Оценка продолжительности жизни асфальтобетона под действием статистического нагружения [Текст] / В.А. Золотарев // Научно-виробничий журнал «Автомобільні дороги». – 2013. – № 31. – С. 25-33.
7. Золотарёв В.А. Щебёночно-мастичный асфальтобетон – французский взгляд // Автошляховик України. – 2005. № 6. – С.31-32.
8. Кольшева Е.О., Евдокимова Н.Г., Гайнанова Р.Н., Нигматуллин В.Ф. Нефтяные битумы с поверхностно-активными добавками, полученными на основе низкомолекулярного полиэтилена // Тезисы докладов межвузовской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. – Изд-во УГНТУ, Уфа: 2012.
9. Модифицированные битумные вяжущие, специальные битумы и битумы с добавками в дорожном строительстве. PIARC-AIPCR / Пер. с франц. В.А. Золотарёва; П.А. Беспаловой; под общей редакцией В.А. Золотарёва, В.И. Братчуна. – Харьков: Изд-во ХНАДУ, 2003. – 229 с.
10. Прогрессивные технологии капитального ремонта дорожных одежд [Текст] / [В.В. Мозговой, А.Е. Мерзликин, Л.А. Мозговая и др.] // Дорожная техника: Каталог-справочник. – Санкт-Петербург: ООО «Славутич», 2007. – С.126-139.
11. Радовский Б.С. Проектирование состава асфальтобетонных смесей в США по методу Суперпейв [Текст] / Б.С. Радовский // Дорожная техника: Каталог-справочник. – Санкт-Петербург: ООО «Славутич», 2007. – С. 86-99.
12. Соломенцев А.Б. Классификация и номенклатура модифицирующих добавок для битума / А.Б. Соломенцев // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2008. – № 1. – С. 14-16.
13. Bahia H.: Role of Binders in Pavement Performance. Pavement Performance Prediction Symposium Laramie. 2006.
14. King, G.N. and H.W. King.: Polymer Modified Asphalts, an Overview. American Society of Civil Engineering, pp 240-254. – 1986.
15. Khattak, M.J., Baladi, G.Y.: Fatigue and permanent deformation models for polymer-modified phal mixtures. Journal of the Transportation Research Board 1767, pp. 135-145. – 2001.
16. Srivastava, A., Hopman, P.C. and Molenaar, A.A.: Asphalt Binder and its Implications on Overlay Design. American Society for Testing and Materials Vol 1108 – pp 309-329. – 1992.

#### References

1. Innovative technologies for pothole repair of inner-city asphalt concrete road surfaces using cast asphalt-polymer-sulfur concrete mixtures [Text] / [V.I. Bratchun, D.V. Gulyak, V.L. Bepalov, V.V. Goryainov, R.V. Parashchevin] // Bulletin of the Donbass National Academy of Civil Engineering and Architecture: collection of scientific papers Construction complex and housing and communal services of the DPR: development and efficiency in an unstable operating environment” – Makeyevka: DonNASA, 2016. – P. 8-10.
2. Galdina V.D. Modified bitumens. Tutorial. – Омск: SIBADI, 2009. 230 p.

3. Gokhman L.M. Complex organic binders based on block copolymers of the SBS type: tutorial / L.M. Gokhman. – M.: ZAO “EKONINFORM”, 2004. – 584 p.

4. Gureev A.A. Production of petroleum bitumens / A.A. Gureev, E.A. Chernysheva, A. A. Konovalov, Yu. V. Kozhevnikova. – M.: Gubkin Russian State University of Oil and Gas, 2007. – 103 p.

5. Evdokimova N.G. Development of scientific and technological foundations for the production of modern bitumen materials as oil disperse systems: abstract of Doctor of Engineering Sciences. – M., 2015 – 417 p.

6. Zolotarev V.A. Assessment of the service life of asphalt concrete under static loading [Text] / V.A. Zolotarev // Scientific and manufacturing journal “Automobile Roads”. – 2013. – № 31. – P. 25-33.

7. Zolotarev V.A. Stone mastic asphalt concrete – a French view // Avtoshlyakhovik Ukrainy. – 2005. № 6. – P.31-32.

8. Kolysheva E.O., Evdokimova N.G., Gainanova R.N., Nigmatullin V.F. Petroleum bitumens with surface-active additives obtained on the basis of low-molecular polyethylene // Abstracts of reports of the interuniversity scientific and technical conference of students, postgraduates and young scientists. –

Publishing house of Ufa State Petroleum Technical University, Ufa: 2012.

9. Modified bitumen binders, special bitumens and bitumens with additives in road construction. PIARC-AIPCR / Transl. from French. V.A. Zolotarev; P.A. Bespalova; under the general editorship of V.A. Zolotarev, V.I. Bratchun. – Kharkov: Publishing House of Kharkiv National Agrarian University, 2003. – 229 p.

10. Progressive Technologies for Major Repairs of Road Pavements [Text] / [V.V. Mozgovoy, A.E. Merzlikin, L.I.A. Mozgovaya et al.] // Road Equipment: Catalog-Reference Book. – Saint Petersburg: OOO Slavutich, 2007. – P.126-139.

11. Radovsky B.S. Design of Asphalt Concrete Mixtures in the USA Using the Superpave Method [Text] / B.S. Radovsky // Road Equipment: Catalog-Reference Book. – Saint Petersburg: OOO Slavutich, 2007. – P.86-99.

12. Solomentsev A.B. Classification and nomenclature of modifying additives for bitumen / A.B. Solomentsev // Science and technology in the road industry. – 2008. – No. 1. – P. 14-16.

*Статья поступила в редакцию 17.09.2024*

#### Информация об авторе

**Коваленко Анастасия Викторовна**, доцент кафедры проектирования и технологии строительства Луганского государственного университета имени Владимира Даля, г. Луганск.  
**E-mail:** housenastya@mail.ru

#### Information about the author

**Kovalenko Anastasia Viktorovna**, associate Professor of the Department of Design and Construction Technology, of Lugansk State University named after Vladimir Dahl.  
**E-mail:** housenastya@mail.ru

---

#### Для цитирования:

Коваленко А.В. Характеристика структуры битумополимерсерных вяжущих с учетом климатических особенностей региона // Вестник Луганского государственного университета имени Владимира Даля. – 2024. – № 12(90). – С. 34-39.

#### For citation:

Kovalenko A.V. Characteristics of the structure of bitumen polymer binders taking into account the climatic characteristics of the region // Vestnik of Lugansk State University named after Vladimir Dahl. – 2024. – № 12(90). – P. 34-39.

---

УДК 62-52

## АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ ТЕПЛОГАЗОСНАБЖЕНИЯ В РОССИИ

Копец К. К., Копец Ю. В.

## AUTOMATED CONTROL SYSTEMS FOR TECHNOLOGICAL PROCESSES OF HEAT AND GAS SUPPLY IN RUSSIA

Kopets K. K., Kopets I. V.

**Аннотация.** Система теплогазоснабжения – одна из ведущих отраслей в России. Данная статья посвящена автоматизированным системам управления технологическими процессами, которые помогают модернизировать и оптимизировать систему теплогазоснабжения в России.

Раскрыты понятие и значение автоматизированных систем управления. Рассмотрена структура и основные компоненты таких систем. Приведены преимущества автоматизации процессов, текущие решения и перспективы развития АСУ.

**Ключевые слова:** автоматизированные системы управления, автоматизация, система теплогазоснабжения, интеллектуальные системы учета.

**Abstract.** The heat and gas supply system is one of the leading industries in Russia. This article is devoted to automated process control systems that help modernize and optimize the heat and gas supply system in Russia. The concept and meaning of automated control systems are revealed. The structure and main components of such systems are considered. The advantages of process automation, current solutions and prospects for the development of automated control systems are presented.

**Key words:** automated control systems, automation, heat and gas supply systems, intelligent accounting systems.

**Введение.** Теплогазоснабжение является одной из важнейших отраслей энергетической инфраструктуры России. Оно обеспечивает комфортные условия жизни для населения, а также создает необходимые условия для функционирования промышленности. В условиях современных экономических реалий и повышения требований к эффективности использования энергетических ресурсов автоматизированные системы управления (далее – АСУ) становятся ключевым инструментом для оптимизации процессов теплогазоснабжения. В данной статье рассмотрим основные аспекты автоматизации технологических процессов в этой области, ее преимущества, существующие решения и перспективы развития.

Автоматизированные системы управления (АСУ) представляют собой совокупность программного и аппаратного обеспечения, предназначенного для автоматизации процессов управления, мониторинга и анализа данных [1]. В контексте теплогазоснабжения АСУ позволяют:

- обеспечивать надежное и бесперебойное снабжение тепловой и газовой энергией;

- оптимизировать расход ресурсов и снизить затраты на эксплуатацию;
- повышать безопасность и надежность работы систем;
- собирать, обрабатывать и анализировать данные для принятия управленческих решений.

Система АСУ может включать в себя различные компоненты, такие как датчики, контроллеры, исполнительные механизмы, а также программное обеспечение для мониторинга и управления.

Рассмотрим структуру автоматизированных систем управления в теплогазоснабжении. Автоматизированные системы управления в теплогазоснабжении можно разделить на несколько уровней:

1. Уровень датчиков и исполнительных механизмов: включает в себя датчики температуры, давления, расхода и другие устройства, которые фиксируют параметры работы системы и передают данные на следующий уровень.

2. Уровень контроллеров: здесь происходит обработка данных от датчиков и принятие

решений о работе исполнительных механизмов. Контроллеры могут быть как простыми, так и сложными, в зависимости от требований системы.

3. Уровень управления и мониторинга: на этом уровне осуществляется визуализация данных, управление технологическими процессами и анализ информации. Обычно используются специализированные программные продукты для управления и мониторинга.

4. Уровень управления предприятием: включает в себя системы, отвечающие за планирование и управление ресурсами предприятия, интегрированные с АСУ.

Основные компоненты автоматизированных систем управления в теплогазоснабжении [2]:

- датчики и измерительные приборы: предназначены для мониторинга параметров работы системы (температура, давление, расход и т.д.);
- контроллеры: устройства, которые обрабатывают данные от датчиков и управляют исполнительными механизмами;
- программное обеспечение: системы SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition), которые обеспечивают мониторинг и управление процессами;
- исполнительные механизмы: устройства, которые выполняют команды контроллеров (насосы, клапаны и т.д.).

Автоматизация процессов в теплогазоснабжении приносит множество следующих преимуществ.

Эффективность использования ресурсов. Автоматизированные системы позволяют оптимизировать расход газа и тепла, что приводит к снижению затрат на энергоресурсы. С помощью АСУ можно точно регулировать подачу тепла в зависимости от потребностей потребителей, что исключает перерасход ресурсов.

Повышение надежности и безопасности. Автоматизированные системы обеспечивают непрерывный мониторинг состояния оборудования и параметров работы системы. Это позволяет быстро выявлять и устранять неисправности, что значительно снижает риск аварий и обеспечивает безопасность работы.

Улучшение качества обслуживания. Автоматизация позволяет повысить качество обслуживания потребителей за счет более точного учета их потребностей. Системы могут автоматически адаптироваться к изменениям в потреблении тепла и газа, что обеспечивает стабильность и комфорт.

Снижение трудозатрат. Автоматизация процессов позволяет сократить количество

ручных операций, что снижает трудозатраты и минимизирует вероятность человеческой ошибки.

В России существует ряд успешных примеров внедрения автоматизированных систем управления в области теплогазоснабжения. Рассмотрим некоторые из них.

#### *Системы SCADA*

Системы SCADA являются основным инструментом для управления и мониторинга технологических процессов. Они позволяют собирать данные от различных источников, визуализировать их и управлять процессами в реальном времени [2]. В России разработаны и внедрены несколько отечественных решений, таких как "Каскад", "Гармония" и другие.

#### *Интеллектуальные системы учета*

Современные интеллектуальные системы учета позволяют не только фиксировать потребление тепла и газа, но и передавать данные в режиме реального времени на серверы для дальнейшей обработки. Это позволяет повысить точность учета и снизить затраты на обслуживание.

#### *Применение IoT-технологий*

Интернет вещей (IoT) активно внедряется в системы теплогазоснабжения. С помощью IoT-устройств можно собирать данные с удаленных объектов, что позволяет повысить уровень автоматизации и улучшить мониторинг состояния оборудования.

Перспективы развития автоматизированных систем управления в теплогазоснабжении связаны с интеграцией АСУ с другими системами управления, такими как системы управления производством (MES) и системы управления ресурсами предприятия (ERP). Это позволит создать единую информационную среду, что повысит эффективность управления.

Анализ больших данных (Big Data) и применение аналитических инструментов позволяют более точно прогнозировать потребление тепла и газа, выявлять закономерности и оптимизировать процессы. Это может привести к значительному снижению затрат и повышению эффективности работы систем [3].

С учетом глобальных тенденций устойчивого развития и экологической ответственности автоматизированные системы управления будут способствовать более эффективному использованию ресурсов и снижению негативного воздействия на окружающую среду. Внедрение «умных» технологий позволит минимизировать выбросы и повысить энергоэффективность.

**Выводы.** Автоматизированные системы управления технологическими процессами

теплогазоснабжения в России играют ключевую роль в обеспечении эффективного и надежного снабжения теплом и газом. Они позволяют оптимизировать использование ресурсов, повышать безопасность и надежность работы систем, а также улучшать качество обслуживания потребителей. Развитие технологий, таких как IoT и Big Data, открывает новые перспективы для автоматизации процессов, что будет способствовать устойчивому развитию отрасли и повышению ее конкурентоспособности. Внедрение АСУ в теплогазоснабжение - это не только необходимость, но и шаг к более эффективному и безопасному будущему.

#### Список источников

1. Глушков В.М. Введение в АСУ / В.М. Глушков // 3-е изд. — М.: Ленанд. — URSS, 2022. — 320 с. — ISBN 978-5-9710-9375-6.
2. Линьков В.А. Централизованные АСУ ТП. Состав и структура АСУ ТП / В.А. Линьков //

#### Информация об авторах

**Копец Карина Константиновна**, к-т техн.н., доцент, доцент кафедры «Вентиляция, теплогазо- и водоснабжение», институт строительства, архитектуры и жилищно-коммунального хозяйства Луганского государственного университета имени Владимира Даля, г. Луганск.  
*SPIN-код: 2364-9474, AuthorID: 1180916*  
**E-mail:** karina\_0101@mail.ru.

**Копец Юрий Витальевич**, к-т техн.н., старший преподаватель кафедры «Вентиляция, теплогазо- и водоснабжение», институт строительства, архитектуры и жилищно-коммунального хозяйства Луганского государственного университета имени Владимира Даля, г. Луганск.  
*SPIN-код: 9524-6246, AuthorID: 1164071*  
**E-mail:** yura\_87-87@mail.ru.

Международный студенческий научный вестник. — 2019. — №6. — 12 с.

3. Что такое интернет вещей и как он устроен. URL:

<https://trends.rbc.ru/trends/industry/5db96f769a7947561444f118> (дата обращения: 16.11.2024).

#### References

1. Glushkov V.M. Introduction to the automated control system / V.M. Glushkov // 3-e izd. — M.: Lenand. — URSS, 2022. — 320 s. — ISBN 978-5-9710-9375-6.

2. Lin'kov V.A. Centralized automated control systems. The composition and structure of the automated control system / V.A. Lin'kov // Mezhdunarodnyj studencheskij nauchnyj vestnik. — 2019. — №6. — 12 s.

3. What is the Internet of Things and how it works.. URL:

<https://trends.rbc.ru/trends/industry/5db96f769a7947561444f118> (data obrashhenija: 16.11.2024).

*Статья поступила в редакцию 17.11.2024*

#### Information about the author

**Kopets Karina**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department "Ventilation, heat, gas and water supply", Institute of Construction, Architecture and Housing and Communal Services of of Lugansk State University named after Vladimir Dahl/  
*SPIN-код: 2364-9474, AuthorID: 1180916*  
**E-mail:** karina\_0101@mail.ru.

**Kopets Iurii**, Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer of the Department "Ventilation, heat, gas and water supply", Institute of Construction, Architecture and Housing and Communal Services of of Lugansk State University named after Vladimir Dahl.  
*SPIN-код: 9524-6246, AuthorID: 1164071*  
**E-mail:** yura\_87-87@mail.ru.

#### Для цитирования:

Копец К.К., Копец Ю.В. Автоматизированные системы управления технологическими процессами теплогазоснабжения в России // Вестник Луганского государственного университета имени Владимира Даля. — 2024. — 12(90). — С. 40-42.

#### For citation:

Kopets K., Kopets I. Automated control systems for technological processes of heat and gas supply in Russia // Vestnik of Lugansk State University named after Vladimir Dahl. — 2024. — 12(90). — P. 40-42.

УДК 628.475.7

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПИРОЛИЗНОГО ГАЗА В ТЕПЛОГЕНЕРИРУЮЩИХ УСТАНОВКАХ ДЛЯ ОБОГРЕВА И ПОЛУЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Копец Ю. В., Копец К. К.

## THE USE OF PYROLYSIS GAS IN HEAT GENERATING PLANTS FOR HEATING AND GENERATING ELECTRICITY

Kopets I. V., Kopets K. K.

**Аннотация.** В статье рассмотрен такой процесс термического разложения органических отходов, как пиролиз. Такая технология может применяться для переработки органической составляющей твердых коммунальных отходов. Приведены принципы пиролиза и применяемое оборудование. Рассмотрены продукты пиролиза. Особое внимание уделяется пиролизному газу. Проведен анализ его состава и физико-химических свойств. Сделан вывод о возможности применения такого газа в теплогенерации и электроэнергетике.

**Ключевые слова:** пиролиз, пиролизный газ, теплогенерирующие установки, электроэнергетика.

**Abstract.** The article considers such a process of thermal decomposition of organic waste as pyrolysis. This technology can be used to recycle the organic component of municipal solid waste. The principles of pyrolysis and the equipment used are given. Pyrolysis products are considered. Special attention is paid to pyrolysis gas. The analysis of its composition and physico-chemical properties is carried out. The conclusion is made about the possibility of using such a gas in heat generation and electric power industry.

**Key words:** pyrolysis, pyrolysis gas, heat generating plants, electric power industry.

**Введение.** Проблема утилизации твердых бытовых отходов (ТБО) и поиска альтернативных источников энергии становится все более актуальной в условиях глобального изменения климата и истощения природных ресурсов. Одним из многообещающих решений этой проблемы является пиролиз – термохимический процесс разложения органических материалов при высоких температурах в отсутствие кислорода [1]. В результате пиролиза образуется пиролизный газ, который может быть использован в теплогенерирующих установках для обогрева и производства электроэнергии. В данной статье мы рассмотрим технологию пиролиза, состав и свойства пиролизного газа, а также его применение в теплогенерации и электроэнергетике.

### Принципы пиролиза

Пиролиз – это процесс термического разложения органических веществ, который происходит при температуре от 300°C до 900°C. В отличие от сжигания, пиролиз проходит в бескислородной среде, что предотвращает окисление и образование углекислого газа [2]. В процессе пиролиза образуются три основных

продукта: пиролизный газ, твердый углеродный остаток (уголь) и пиролизное масло.

### Оборудование для пиролиза

Для реализации процесса пиролиза используются различные установки, которые могут различаться по конструкции и принципу действия. Наиболее распространенные типы пиролизных установок:

- Ротационные печи. Обеспечивают непрерывный процесс пиролиза за счет вращения барабана, в котором происходит нагрев и перемешивание материала.
- Шнековые пиролизаторы. Используют шнек для перемещения сырья через зону нагрева, что позволяет контролировать время пребывания материала в установке.
- Пиролизные реакторы с фиксированным слоем. Обеспечивают стабильные условия процесса, но требуют периодической загрузки и выгрузки.

### Пиролизный газ: состав и свойства

Рассмотрим состав пиролизного газа.

Пиролизный газ состоит из различных углеводородов и газов, включая:

- Метан ( $\text{CH}_4$ ): 15-20%
- Этилен ( $\text{C}_2\text{H}_4$ ): 10-15%

- Углеродный оксид (CO): 10-20%
- Водород (H<sub>2</sub>): 10-15%
- Углекислый газ (CO<sub>2</sub>): 5-10%
- Прочие компоненты: водяной пар, летучие органические соединения.

Состав пиролизного газа может варьироваться в зависимости от типа сырья и условий пиролиза.

Пиролизный газ обладает рядом физико-химических свойств, которые делают его привлекательным для использования в энергетических установках:

- Высокая теплотворная способность: пиролизный газ имеет теплотворную способность в диапазоне 15-20 МДж/м<sup>3</sup>, что позволяет эффективно использовать его для обогрева и генерации электроэнергии.

- Чистота сгорания: низкое содержание серы и других загрязняющих веществ делает пиролизный газ экологически чистым источником энергии.

- Гибкость в использовании: пиролизный газ можно использовать как в качестве топлива для горелок, так и для работы газовых турбин [3].

*Применение пиролизного газа в теплогенерирующих установках*

Теплогенерация – это процесс получения тепла для обогрева помещений, производства горячей воды и других нужд. Пиролизный газ может быть использован в теплогенерирующих установках, таких как:

- *Котлы на пиролизном газе:* специальные котлы, которые работают на пиролизном газе, обеспечивают высокую эффективность сгорания и минимальные выбросы загрязняющих веществ.

- *Горелки:* пиролизный газ может быть использован в горелках для получения тепла в промышленных и бытовых системах отопления.

*Преимущества использования пиролизного газа в теплогенерации*

- Экономия ресурсов: использование пиролизного газа позволяет сократить потребление ископаемых видов топлива.

- Снижение выбросов: пиролизный газ имеет низкое содержание серы и других загрязняющих веществ, что способствует снижению выбросов в атмосферу.

- Устойчивость к колебаниям цен на энергоносители: использование пиролизного газа позволяет снизить зависимость от внешних источников энергии и колебаний цен на нефть и газ.

*Использование пиролизного газа для получения электроэнергии*

Пиролизный газ может быть использован в газовых турбинах для производства электроэнергии. Газовая турбина работает на

принципе сгорания топлива, в результате чего образуется горячий газ, который вращает турбину и генерирует электроэнергию.

*Преимущества использования пиролизного газа в электроэнергетике*

- Высокая эффективность: использование пиролизного газа в газовых турбинах позволяет достичь высокой эффективности преобразования энергии.

- Экологическая безопасность: низкие выбросы загрязняющих веществ способствуют снижению воздействия на окружающую среду.

- Гибкость в эксплуатации: пиролизный газ можно использовать как основной источник топлива, так и в сочетании с другими видами топлива.

*Экономические аспекты использования пиролизного газа*

Производство пиролизного газа требует инвестиций в оборудование и технологии пиролиза, однако эти затраты могут быть оправданы за счет экономии на традиционных источниках энергии и возможной продажи излишков электроэнергии.

*Экономическая эффективность*

Использование пиролизного газа может привести к значительным экономическим выгодам как для промышленных предприятий, так и для бытовых пользователей. Снижение затрат на электроэнергию и тепло может компенсировать первоначальные инвестиции в оборудование.

*Перспективы использования пиролизного газа*

С развитием технологий пиролиза и повышения эффективности процессов использования пиролизного газа будет становиться все более популярным. Инновационные решения и новые подходы к пиролизу могут улучшить качество и количество получаемого газа.

*Экологические инициативы*

С учетом глобальных экологических инициатив и стремления к устойчивому развитию использование пиролизного газа как альтернативного источника энергии будет способствовать снижению углеродного следа и улучшению экологической ситуации.

**Выводы.** Пиролизный газ представляет собой многообещающий ресурс для теплогенерации и производства электроэнергии. Его использование в теплогенерирующих установках и газовых турбинах может существенно снизить зависимость от традиционных ископаемых источников энергии, а также минимизировать негативное воздействие на окружающую среду. С учетом преимуществ

пиролизного газа, таких как высокая теплотворная способность, экологическая безопасность и экономическая эффективность, его применение в энергетике имеет значительные перспективы. Развитие технологий пиролиза и внедрение инновационных решений будут способствовать дальнейшему распространению пиролизного газа как альтернативного источника энергии в будущем.

#### Список источников

1. Копец Ю. В. Обращение с твёрдыми коммунальными отходами и меры по санитарной очистке г. Луганска / Ю. В. Копец, К. К. Копец // «Инженерный вестник Дона», 2023. – №11. – URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n11y2023/8784](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n11y2023/8784).

2. Копец Ю. В. Процесс и установка для пиролизной утилизации твердых органических отходов / Ю. В. Копец // Экологический вестник Донбасса. – Алчевск: Изд-во ГОУ ВО ЛНР «ДонГТИ», 2023. – Вып. №8. – С. 25-28.

#### Информация об авторах

**Копец Карина Константиновна**, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Вентиляция, теплогазо- и водоснабжение», институт строительства, архитектуры и жилищно-коммунального хозяйства Луганского государственного университета имени Владимира Даля, г. Луганск.

*SPIN-код:* 2364-9474, *AuthorID:* 1180916

**E-mail:** [karina\\_0101@mail.ru](mailto:karina_0101@mail.ru).

**Копец Юрий Витальевич**, кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры «Вентиляция, теплогазо- и водоснабжение», институт строительства, архитектуры и жилищно-коммунального хозяйства Луганского государственного университета имени Владимира Даля, г. Луганск.

*SPIN-код:* 9524-6246, *AuthorID:* 1164071

**E-mail:** [yura\\_87-87@mail.ru](mailto:yura_87-87@mail.ru).

3. Таймаров М.А. Теплогенерирующий агрегат с выработкой пиролизного газа / М.А. Таймаров, Ю.В. Лавирко // Известия КГАСУ, 2017. – №3(41). – С.158-166.

#### References

1. Kopets I. V. Solid municipal waste management and sanitation measures in Lugansk / Ju. V. Kopec, K. K. Kopec // «Inzhenernyj vestnik Dona», 2023. – №11. – URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n11y2023/8784](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n11y2023/8784).

2. Kopets I. V. Process and installation for pyrolysis disposal of solid organic waste / Ju. V. Kopec // Jekologicheskij vestnik Donbassa. – Alchevsk: Izd-vo GOU VO LNR «DonGTI», 2023. – Vyp. №8. – S. 25-28.

3. Tajmarov M.A. Heat generating unit with pyrolysis gas production / M.A. Tajmarov, Ju.V. Lavirko // Izvestija KGASU, 2017. – №3(41). – S.158-166.

*Статья поступила в редакцию 14.11.2024*

#### Information about the authors

**Kopets Karina**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department "Ventilation, heat, gas and water supply", Institute of Construction, Architecture and Housing and Communal Services of Lugansk State named after Vladimir Dahl, Lugansk.

*SPIN-код:* 2364-9474, *AuthorID:* 1180916

**E-mail:** [karina\\_0101@mail.ru](mailto:karina_0101@mail.ru).

**Kopets Iurii**, Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer of the Department "Ventilation, heat, gas and water supply", Institute of Construction, Architecture and Housing and Communal Services of Lugansk State named after Vladimir Dahl, Lugansk.

*SPIN-код:* 9524-6246, *AuthorID:* 1164071

**E-mail:** [yura\\_87-87@mail.ru](mailto:yura_87-87@mail.ru).

#### Для цитирования:

Копец Ю.В., Копец К.К. Использование пиролизного газа в теплогенерирующих установках для обогрева и получения электроэнергии // Вестник Луганского государственного университета имени Владимира Даля. – 2024. – 12(90). – С. 43-45.

#### For citation:

Kopets I., Kopets K. The use of pyrolysis gas in heat generating plants for heating and generating electricity // Vestnik of Lugansk State University named after Vladimir Dahl. – 2024. – 12(90). – P. 43-45.

УДК 69.05

## ТЕПЛОВИЗИОННОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

Малыгина О. А., Пилавов М. В., Засько В. В.

## THERMAL IMAGING INSPECTION OF BUILDINGS AND STRUCTURES

Maligina O. A., Pilavov M. V., Zasko V. V.

**Аннотация:** Рассмотрены вопросы области применения тепловизионного контроля для строительства, реконструкции и капитального ремонта зданий и сооружений. Приведены рекомендации по правильному выполнению тепловизионной съемки. Показаны основные виды строительных дефектов, которые можно выявить с помощью инфракрасной термографии.

**Ключевые слова:** тепловизор, тепловизионный контроль, инфракрасная диагностика, инфракрасная термография.

**Abstract:** The issues of the application of thermal imaging control for the construction, reconstruction and overhaul of buildings and structures are considered. Recommendations for the correct performance of thermal imaging are given. The main types of construction defects that can be detected using infrared thermography are shown.

**Key words:** thermal imager, thermal imaging control, infrared diagnostics, infrared thermography.

**Введение.** Принцип организации системы инфракрасной диагностики (ИК-диагностики) заключается в взаимосвязанном подходе, включающем несколько циклов, которые определяют последовательность операций и их информационную ценность. Регламентация ИК-диагностики охватывает периодичность и объем измерений контролируемых объектов. Воздействие приборов должно гарантировать высокую точность в выявлении дефектов на эксплуатируемых в реальных условиях зданиях и зданиях на стадии обследования и реконструкции. Выявление дефектов ограждающих конструкций необходимо осуществлять на начальных стадиях развития дефектов, что требует высокой чувствительности средств диагностики к неблагоприятным условиям эксплуатации, таким как низкие температуры. Анализ результатов ИК-диагностики включает оценку выявленных дефектов и их прогнозирование, а после устранения дефекта обязательно должно быть проведено повторное диагностирование для оценки качества ремонта или реконструкции.

**Изложение основного материала.** Тепловизор представляет собой высокотехнологичное

предназначенное для обнаружения и визуализации инфракрасного излучения, исходящего от различных объектов. Его функциональность основана на принципе теплового излучения, которое доступно для восприятия в инфракрасном спектре.

Эти устройства включают в себя чувствительные сенсоры, которые способны регистрировать инфракрасные волны и преобразовывать их в четкое видимое изображение. Благодаря этому наблюдатель получает возможность выявлять тепловые контрасты между объектами, что открывает новые горизонты в разнообразных сферах деятельности.

Тепловизоры используются в строительстве для выявления тепловых потерь ограждающих конструкций здания, а также в промышленности для мониторинга состояния оборудования. Эффективность и универсальность тепловизоров делают их важным инструментом в современных технологиях, способствующим безопасности и улучшению качества жизни.

Корпус устройства изготавливается в основном из пластика или металла, что определяется особенностями конкретной модели и предпочтениями целевой аудитории.

Пластиковые корпуса отличаются легкостью и удобством в транспортировке, что делает их идеальными для активного использования. В то время как металлические корпуса предлагают большую прочность и стойкость к неблагоприятным внешним условиям. Некоторые модели оборудованы дополнительными элементами защиты, такими как резиновое покрытие или влагозащитные свойства, что значительно повышает надежность и долговечность устройства.

Разрешающая способность экрана определяется количеством пикселей, которые устройство может отобразить. Это значение выражается в двух измерениях: горизонтальном и вертикальном, например, 640 x 480 или 1280 x 720. Чем выше разрешение, тем более детализированное изображение может быть достигнуто. Однако важно учитывать, что увеличение разрешения может сказаться на стоимости устройства и его производительности, поскольку более высокое разрешение требует обработки большего объема данных, что может влиять на работоспособность в целом.

Тепловизионные измерения следует проводить при температурных перепадах, превышающих минимально допустимые значения, и учитывать влияние внешних факторов, таких как погодные условия и географическое расположение объекта. Тепловизионные измерения необходимо проводить в хорошую, безветренную погоду. С увеличением расстояний от сооружения возрастает погрешность измерений. Мостики холода, как правило лучше обнаруживаются при осмотре с помощью тепловизора внутри помещений.

Основными факторами, которые влияют на погрешность измерений внутри помещений являются:

- отслоение штукатурки;
- неравномерная окраска стен зданий;
- наличие обогревательных приспособлений и вентиляторов;
- наличие мебели, ковров и других предметов.

Качественную оценку результатов измерений должен выполнять оператор-термографист. Лучшие результаты получаются при использовании цветных и чёрно-белых термограмм. Цветные термограммы используются более эффективно, когда тепловая аномалия по температуре несильно отличается от окружающего температурного

фона. Черно-белые термограммы имеют более естественный вид и находят широкое использование, когда тепловую аномалию находят на общем фоне «тепловых отпечатков»

Для качественного анализа термограмм применяются рекомендации:

- Инфракрасная съемка должна дополняться визуальным осмотром или фотографированием. Текстуры видимых и инфракрасных изображений часто различаются. Наилучшим результатом диагностики является компьютерное совмещение этих изображений, а также обрисовка дефектных зон на видимом изображении после их выявления на термограммах.

- Оценка тепловых аномалий требует анализа как температурного перепада в зоне аномалии, так и сравнения с эталонной зоной, которая должна находиться в аналогичных условиях теплообмена и располагаться близко к исследуемой области.

- Объекты, визуализируемые под значительным углом, как правило, выглядят холоднее. На больших расстояниях контрольные объекты также могут казаться более холодными из-за атмосферного поглощения.

- Неокрашенные металлические элементы обычно отображаются как более холодные, особенно при отсутствии интенсивного внешнего освещения.

- Тепловые аномалии визуализируются на термограммах в виде областей повышенной или пониженной температуры и могут указывать на архитектурные детали, неоднородности коэффициента излучения и теплообмена, а также различные дефекты. Количественная оценка тепловых аномалий необходима для определения их потенциальной опасности для нормального функционирования объекта.

Измерения с помощью тепловизора проводят в такой последовательности:

- тепловизор устанавливают в выбранном месте;
- включают и настраивают тепловизор согласно с его инструкцией по эксплуатации;
- снимают термограммы выбранных участков.

Тепловизионная съемка строительных сооружений включает в себя:

- обнаружение скрытых дефектов при строительстве;
- определение тепловых потерь;

– определение сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций.

Основными нормативными характеристиками жилых объектов массовой застройки являются: расчётная температура наружного (принимается по нормативной литературе) и внутреннего воздуха ( $18 \div 21$  °C), относительная влажность наружного (принимается по нормативной литературе) и внутреннего воздуха ( $50 \div 60$  %), температура на внутренней поверхности стенового ограждения. Удельные энергозатраты за один отопительный период являются главной эксплуатационной характеристикой жилых зданий.

Наиболее значительная доля тепловых потерь, достигающая 50%, обусловлена инфильтрацией холодного воздуха, основным источником которого являются щели и неплотности в оконном и балконном заполнении.

Практическое определение теплопотерь осуществляется на основе проектной документации либо с применением метода прямых измерений. Для начала определяют площадь ограждающих конструкций здания  $S$ , что также можно косвенно установить по термограмме, используя маркер известных размеров, например, металлическую линейку. Затем вычисляют среднюю температуру ограждающих конструкций, усредняя показатели на различных термограммах с учетом весового вклада отдельных зон, что зависит от расстояния до объекта во время фиксации изображения, а также от наличия посторонних объектов, таких как небо.

Тепловые потери могут быть рассчитаны отдельно для боковых ограждающих поверхностей, крыши и фундамента с последующим суммированием. При оценке общих теплопотерь за определенный период, например, год, следует учитывать приведенную мощность теплопотерь базирываясь на теплоотдаче и температурном напоре. В процессе анализа тепловых потерь особое внимание стоит уделить термографированию окон, поскольку именно через них уходит наибольшая часть тепловой энергии.

Основные виды строительных дефектов, которые можно выявить с помощью инфракрасной термографии, включают такие категории:

– утечки воздуха и воды;  
– мостики холода и тепла, а также ухудшенное сопротивление;

– дефекты панелей ограждающих конструкций;

– отслоение штукатурки, облицовки и других покрытий.

Методика обнаружения скрытых дефектов основывается на сравнении текущей зоны контроля с эталонной (бездефектной) областью. Применяя тепловизионный метод, возможно выявление недостатков как внутри, так и снаружи зданий.

Внешний осмотр предпочтителен для оценки тепловых потерь и сопротивления теплопередаче, а также для анализа эффективности архитектурных решений. Он позволяет обнаружить значительные дефекты, нарушающие температурное поле поверхности. Качество строительства многих производственных зданий, особенно основных корпусов тепловых станций и энергетических объектов, возведенных в 60-70-х годах, оставляет желать лучшего. В процессе эксплуатации наблюдается интенсивная коррозия металлических соединений стеновых панелей, что может привести к разрушению отдельных участков. Изучение процессов коррозии может быть эффективно осуществлено с помощью тепловизионной диагностики.

Существуют множество нормативных документов, посвященных тепловизионной съемке [2-5]. Рассмотрен пример тепловизионной съемки. Тепловизионное обследование, контрольные измерения и обработка результатов выполнены в соответствии с ГОСТ 26629-85 «Метод тепловизионного контроля качества теплоизоляции ограждающих конструкций» [4], СНиП 23-01-99\* «Строительная климатология» [6] и др.

В ходе натурных испытаний тепловизионной защиты проведена наружная тепловизионная съемка ограждающих конструкций здания (рис. 1).

Термограммы сопровождаются температурной шкалой и фотографиями обследованных конструкций. Температурная шкала устанавливает соответствие цвета на термограмме температуре на поверхности, для ряда термограмм может быть приведена одна температурная шкала.

Результаты расчета приведенного сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций приведены в табл. 1.

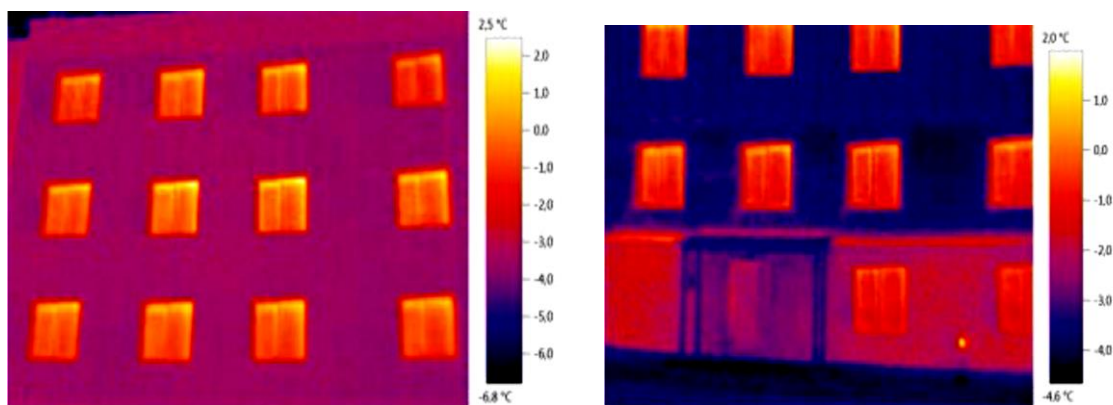


Рис. 1. Термограммы различных участков наружных ограждающих конструкций

Таблица 1

**Приведенное сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций,  $\text{м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$** 

| №<br>п/п | Элемент ограждающих конструкций  | Приведенное сопротивление теплопередаче, $\text{м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$ |                      |
|----------|----------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------|
|          |                                  | Нормативное значение                                                              | Фактическое значение |
| 1        | Наружные стены (цокольный этаж)  | 2,8                                                                               | 3,01                 |
| 2        | Наружные стены (жилые помещения) | 2,8                                                                               | 4,37                 |
| 3        | Наружные стены (жилые помещения) | 2,8                                                                               | 4,0                  |

Для определения на основании замеренных данных количества теплоты, переданной через фрагмент стены с одинаковой температурой на наружной поверхности, применили закон Фурье, устанавливающий прямую зависимость между поверхностной плотностью теплового потока и температурным градиентом. Выведенная из уравнения Фурье [7] формула для однослойной плоской стенки позволяет определить поверхностную плотность теплового потока:

$$q = \frac{\lambda}{\delta} \cdot \Delta t, \quad (1)$$

где  $q$  – поверхностная плотность теплового потока,  $\text{Вт}/\text{м}^2$ ;

$\lambda$  – коэффициент теплопроводности материала слоя,  $\text{Вт}/\text{м} \cdot \text{°C}$  (для кладки на цементно-песчаном растворе кирпича керамического полнотелого плотностью  $1800 \text{ кг}/\text{м}^3$ ;  $\lambda = 0.81 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{°C})$ )

$\delta$  – толщина стенки, м,  $\delta = 0,510 \text{ м}$  (рис. 1);

$\Delta t$  – температурный перепад  $\Delta t = t_1 - t_2$  ( $t_1$  и  $t_2$  – температуры на границах стенки составили в ходе замеров  $t_1 = +4,7 \text{ °C}$  и  $t_2 = +25 \text{ °C}$ , соответственно  $\Delta t = 20,3 \text{ °C}$ )

Подставив значения, получим:  $q = 27,16 \text{ Вт}/\text{м}^2$ .

Теперь, зная поверхностную плотность теплового потока  $q$  можно определить общее

количество теплоты, переданной за 1 час через стенки поверхности  $F$  ( $\text{м}^2$ ), по формуле [1]:

$$Q = q \cdot F = 27,16 \cdot 0,78 = 21,18 \text{ Вт} \quad (2)$$

Площадь стенки  $F$  принята по температурной зоне прицельной точки в виде приближенного к форме треугольника фрагмента,  $F = 0,78 \text{ м}^2$ . В пересчете на  $1 \text{ м}^2$  при температурном перепаде  $\Delta t = 20,3 \text{ °C}$  теплотопотери составили  $21,18 \text{ Вт}$ .

**Выводы.** Метод тепловизионной съемки позволяет в реальном времени обнаруживать проблемные участки, значимые для своевременного проведения ремонтных работ и предотвращения дальнейших разрушений. Таким образом, использование тепловизора становится незаменимым инструментом в сфере контроля и обследования зданий и сооружений, что в конечном итоге способствует продлению их жизненного цикла и повышению надежности эксплуатации. Понимание этих факторов имеет критическое значение для эффективного управления строительными ресурсами и защиты инвестиций в недвижимость.

**Список источников**

1. СНИП 23-02-2024 "Тепловая Защита Зданий" Актуализированная редакция.
2. Диагностика и определение теплотехнических характеристик наружных ограждающих конструкций строительных сооружений тепловизионным методом. — Свид. об аттестации МВИ № 1305/442 от 10.01.2001, Госстандарт России.
3. ГОСТ 26254-84. Здания и сооружения. Методы определения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций.
4. ГОСТ 26629-85. Метод тепловизионного контроля качества. Теплоизоляция ограждающих конструкций.
5. Ведомственные строительные нормы по теплотехническим обследованиям наружных ограждающих конструкций зданий с применением малогабаритного тепловизора (ВСН 43-96). – Утв. Департаментом строительства г. Москвы 30.07.96.5. ГОСТ 25380-2014 "Здания и сооружения. метод измерения плотности тепловых потоков, проходящих через ограждающие конструкции.
6. СП 131.13330.2012 Строительная климатология. Актуализированная редакция СНиП 23-01-99\*, М., 2012.
7. Фокин К. Ф. Строительная теплотехника ограждающих частей зданий. М.: Стройиздат, 1973.

**Информация об авторах**

**Малыгина Оксана Александровна**, старший преподаватель Луганского государственного университета имени Владимира Даля, г. Луганск.  
*SPIN-код:* 2256-9279, *AuthorID:* 761776  
**E-mail:** oksalita@mail.ru

**Пилавов Манолис Васильевич**, д-р техн. наук, профессор кафедры вентиляции, теплого- и водоснабжения института строительства, архитектуры и жилищно-коммунального хозяйства Луганского государственного университета имени Владимира Даля, г. Луганск.  
*SPIN-код:* 1808-3524, *AuthorID:* 1277502

**Засько Виталий Васильевич**, к.т.н., доцент кафедры проектирования и технологии строительства Луганского государственного университета имени Владимира Даля, г. Луганск.  
*SPIN-код:* 2433-1140, *AuthorID:* 1187435  
**E-mail:** vizasko@yandex.ru

**References**

1. SNiP 23-02-2024 "Thermal Protection of Buildings" Updated edition.
2. Diagnostics and determination of thermal engineering characteristics of external enclosing structures of building structures by thermal imaging method. — Swid. on the certification of MVI No. 1305/442 dated 10.01.2001, Gosstandart of Russia.
3. GOST 26254-84. Buildings and structures. Methods for determining the heat transfer resistance of enclosing structures.
4. GOST 26629-85. The method of thermal imaging quality control. Thermal insulation of enclosing structures.
5. Departmental building standards for thermal engineering surveys of external enclosing structures of buildings using a small-sized thermal imager (VSN 43-96). - Approved. Department of Construction of Moscow 30.07.96.5. GOST 25380-2014 "Buildings and structures. a method for measuring the density of heat flows passing through enclosing structures.
6. SP 131.13330.2012 Construction climatology. Updated edition of SNiP 23-01-99\*, Moscow, 2012.
7. Fokin K. F. Building thermal engineering of enclosing parts

*Статья поступила в редакцию 10.11.2024*

**Information about the authors**

**Malygina Oksana**, senator teacher, of Lugansk State University named after Vladimir Dahl.  
*SPIN-код:* 2256-9279, *AuthorID:* 761776  
**E-mail:** oksalita@mail.ru

**Pilavov Manolis**, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Ventilation, Heat, Gas and Water Supply at the Institute of Construction, Architecture and Housing and Communal Services of Lugansk State University named after Vladimir Dahl.  
*SPIN-код:* 1808-3524, *AuthorID:* 1277502

**Zasko Vitalii**, Ph.D. (Eng.), associate Professor, State Educational Establishment of Higher Professional Education Vladimir Dalh Lugansk State University.  
*SPIN-код:* 2433-1140, *AuthorID:* 1187435  
**E-mail:** vizasko@yandex.ru

**Для цитирования:**

Малыгина О.А., Пилавов М.В., Засько В.В. Тепловизионное обследование зданий и сооружений // Вестник Луганского государственного университета имени Владимира Даля. – 2024. – № 12(90). – С. 46-50.

**For citation:**

Maligina O.A., Pilavov M.V., Zasko V.V. Thermal imaging inspection of buildings and structures // Vestnik of Lugansk State University named after Vladimir Dahl. – 2024. – № 12(90). – P. 46-50.

УДК 69.04

## 3D-МОДЕЛИРОВАНИЕ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Мордвина Ю. В., Гапонов А. В.

## 3D MODELING IN CONSTRUCTION

Mordvina Yu. V., Gaponov A. V.

**Аннотация.** 3D-моделирование в строительстве представляет собой процесс создания трехмерных виртуальных моделей зданий и инфраструктур при помощи специализированного программного обеспечения. Эти модели могут включать подробное отображение архитектурных элементов, инженерных систем, ландшафта и других специфических характеристик проекта.

Технология 3D-моделирования активно применяется на всех стадиях проекта – от идеи и проектирования до строительства и управления объектом. Одним из основных достоинств 3D-моделирования является возможность визуализировать проект, что помогает заказчикам, архитекторам и инженерам лучше понять его и принимать более информированные решения на ранних этапах.

**Ключевые слова:** 3D-моделирование, проектирование, цифровые модели.

**Abstract.** 3D modeling in construction is the process of creating three-dimensional virtual models of buildings and infrastructures using specialized software. These models may include a detailed representation of architectural elements, engineering systems, landscape, and other specific characteristics of the project.

3D modeling technology is actively used at all stages of the project - from the idea and design to the construction and management of the facility. One of the main advantages of 3D modeling is the ability to visualize a project, which helps customers, architects and engineers better understand it and make more informed decisions at an early stage.

**Key words:** 3D modeling, design, digital models.

**Введение.** **Преимущества 3D-моделирования.** С помощью 3D-моделей можно проводить различные анализы, такие как прочностные, тепловые и энергетические исследования, что способствует выявлению возможных проблем и оптимизации конструкций для повышения их эффективности и снижения затрат. Модели создают единый визуальный язык для всех участников проекта, что улучшает взаимодействие между архитекторами, инженерами и заказчиками, особенно в случае строительства жилых и муниципальных зданий, где безопасность людей критически важна.

**Целью** исследования данной работы являются изучение, выявление преимуществ и недостатков 3D-моделирования.

**Изложение основного материала.** Подробные 3D-модели также позволяют своевременно выявлять ошибки на этапе проектирования, минимизируя риски и избегая дорогостоящих исправлений во время строительства.

Кроме того, 3D-моделирование в строительстве открывает возможности для

интеграции различных технологий, таких как виртуальная и дополненная реальность. Это позволяет заказчикам и командам проектировщиков не только просматривать модель, но и взаимодействовать с ней в интерактивном формате. Например, с помощью VR-технологий можно "пройтись" по будущему зданию еще до его постройки, что значительно улучшает восприятие пространственных решений и дизайна.

Важно отметить, что 3D-моделирование способствует эффективному управлению строительным процессом. С помощью цифровых моделей можно оптимизировать график работ, снизить количество ошибок на этапе стройки и улучшить координацию между различными подрядчиками. Это, в свою очередь, позволяет сократить время на реализацию проекта и существенно уменьшить затраты.

Также на уровне эксплуатации 3D-модели служат важным инструментом для обслуживания зданий и сооружений. Благодаря детализированным данным о всех инженерных системах и конструкциях можно проводить

профилактические работы и ремонт значительно быстрее и эффективнее, что увеличивает срок службы объектов и снижает затраты на их содержание.

Кроме того, 3D-моделирование способствует повышению безопасности на строительных площадках. С помощью визуализации и анализа потенциальных рисков можно заранее выявить проблемные зоны и разработать меры по их устранению. Это позволяет минимизировать вероятность аварий и несчастных случаев, создавая более безопасные условия для рабочих.

Интеграция 3D-моделирования с другими цифровыми технологиями, такими как BIM (Building Information Modeling), предоставляет дополнительные преимущества. BIM обеспечивает более глубокую детализацию и управление всем жизненным циклом здания, от проектирования до демонтажа. Систематизация информации о материале, затратах и ресурсах позволяет избегать ненужных расходов и улучшать планирование бюджета.

Наконец, в эпоху устойчивого развития 3D-моделирование становится важным инструментом для оценки экологической устойчивости проектов. В последние годы экология становится все более значимым аспектом в процессе 3-D моделирования в строительстве. Использование трехмерных технологий не только упрощает проектирование, но и способствует более рациональному подходу к ресурсам и уменьшению негативного воздействия на окружающую среду.

Применение экологически чистых материалов в 3-D моделировании также становится приоритетом. Инновационные подходы к созданию биоразлагаемых и перерабатываемых материалов открывают новые горизонты для устойчивого строительства. Модернизация процессов проектирования и строительства через интеграцию технологий позволяет создавать «умные» здания, которые взаимодействуют с природной средой, обеспечивая комфорт для жителей и минимальное воздействие на экосистему.

Архитекторы могут проводить симуляции, изучая последствия выбора тех или иных материалов и технологий. Такой подход способствует созданию более экологически безопасных и энергоэффективных зданий, что в долгосрочной перспективе приносит пользу как заказчикам, так и обществу в целом.

**Недостатки применения 3D-моделирования.** Тем не менее существуют и некоторые недостатки, которые можно преодолеть лишь при правильном понимании и использовании 3D-моделирования. Существует

десять ключевых причин, по которым 3D-моделирование иногда оказывается неудачным.

Первая причина – отсутствие предварительного планирования. Неправильная организация процессов моделирования может затруднить выполнение задач и даже привести к провалу. Дизайнер должен проявлять креативность на стадии планирования, чтобы достичь оптимального результата.

Вторая причина – недостаток навыков или плохое их усвоение. Невозможно создать качественную модель на профессиональном уровне без необходимых умений; простые решения в этом случае не сработают.

Третья причина – неприемлемый формат данных. Неправильный выбор формата может вызвать трудности в процессе моделирования. Например, использование стандартных бинарных форматов для файлов может негативно сказаться на результатах.

Четвёртая – игнорирование основных принципов 3D-моделирования, что приводит к недостаточной детализации и нереалистичности моделей.

Пятая причина связана с выбором программного обеспечения – некоторые пакеты не обладают необходимыми функциями, что сказывается на качестве.

Шестая – нехватка данных, что ведёт к нечетким и жестким результатам.

Седьмая причина – отсутствие средств для проверки точности модели, что может создать проблемы с совместимостью.

Восьмое – неправильная настройка софта, что может вызвать сбои в моделировании.

Девятая – стремление дизайнеров работать быстро часто приводит к снижению качества.

И наконец, десятая причина – использование неверной информации о 3D-принтерах, что может полностью провалить проект. При этом важно, чтобы принтеры были правильно настроены и имели соответствующие данные для корректной работы.

**Выводы.** По мере развития технологий мы становимся свидетелями появления новых инструментов и программного обеспечения, которые делают 3-D моделирование еще более доступным и мощным. Искусственный интеллект и машинное обучение постепенно интегрируются в процессы проектирования, открывая новые возможности для автоматизации рутинных задач и повышения креативности в архитектурных решениях.

Таким образом, 3-D моделирование в строительстве становится неотъемлемой частью современного архитектурного процесса, сочетая в себе эстетику, функциональность и безопасность.

Эти технологии действительно преобразуют способ, которым мы проектируем и строим, и обещают еще больший прогресс в будущем.

#### Список источников

1. 3D-в архитектуре 2021 [Электронный ресурс]. URL: <https://3d-m.ru/3d-v-arhitekture/>
2. 3D-печать в архитектуре. Обзор трендов и технологий [Электронный ресурс]. URL: <https://archspeech.com/article/3d-pechat-v-arhitekture-obzor-trendov-i-tehnologiy>
3. Все о создании 3D-моделей по фотографиям 2022 [Электронный ресурс]. URL: <https://klona.ua/blog/3d-modelirovanie/vse-o-sozdanii-3d-modeley-po-fotografiyam>
4. Мустафин Н.Ш., Барышников А.А. Новейшие технологии в строительстве. SD-принтер [Электронный ресурс] // Региональное развитие. - 2022. - № 8 (12). - URL: <https://regrazvitie.ru/novejshie-tehnologii-v-stroitelstveSd-printer>
5. Wang Yo., Li V.C. Concrete reinforcement with recycled fibers // Journal of Materials in Civil Engineering. - 2020. - № 4-12. - С. S14-S19.
6. Петренева О.В., Пикулева В.О. Проблемы внедрения инновационных технологий и материалов в строительстве // Строительство и архитектура. Опыт и современные технологии. - 2019. - № 5-2.
7. Сарсенгалиева, М. Е. Современные 3D-технологии в архитектуре и строительстве / М. Е. Сарсенгалиева. — Текст: непосредственный // Молодой ученый. — 2022. — № 17 (412). — С. 45-48. — URL: <https://moluch.ru/archive/412/90636/>.
8. Грехнева Е.А. Проектирование зданий и сооружений: современные технологии / Е.А. Грехнева, Н.С. Воловник, В.И. Репина // Молодежь

и XXI век. – Курск: Изд-во «Университетская книга», 2016. – С. 219-223.

#### References

1. 3D in architecture 2021 [Electronic resource]. URL: <https://3d-m.ru/3d-v-arhitekture/>
2. 3D printing in architecture. Review of trends and technologies [Electronic resource]. URL: <https://archspeech.com/article/3d-pechat-v-arhitekture-obzor-trendov-i-tehnologiy>
3. All about creating 3D models based on photographs 2022 [Electronic resource]. URL: <https://klona.ua/blog/3d-modelirovanie/vse-o-sozdanii-3d-modeley-po-fotografiyam>
4. Mustafin N.S., Baryshnikov A.A. The latest technologies in construction. SD printer [Electronic resource] // Regional development. - 2022. - № 8 (12). - URL: <https://regrazvitie.ru/novejshie-tehnologii-v-stroitelstveSd-printer>
5. Wang Yo., Li V.C. Concrete reinforcement with recycled fibers // Journal of Materials in Civil Engineering. - 2020. - No. 4-12. - С. S14-S19.
6. Petrenova O.V., Pikuleva V.O. Problems of introducing innovative technologies and materials in construction // Construction and Architecture. Experience and modern technologies. - 2019. - № 5-2.
7. Sarsengalieva, M. E. Modern 3D technologies in architecture and construction / M. E. Sarsengalieva. — Text: direct // Young scientist. — 2022. — № 17 (412). — Pp. 45-48. — URL: <https://moluch.ru/archive/412/90636>
8. Grekhneva E.A. Designing buildings and structures: modern technologies / E.A. Grekhneva, N.S. Volovnik, V.I. Repina // Youth and the XXI century. – Kursk: Publishing house "University Book", 2016. – pp. 219-223.

*Статья поступила в редакцию 09.09.2024*

#### Информация об авторах

**Мордвина Юлия Владимировна**, старший преподаватель кафедры общеобразовательных дисциплин института строительства, архитектуры и жилищно-коммунального хозяйства Луганского государственного университета имени Владимира Даля, г. Луганск.  
**E-mail:** [mordvina.ulya@mail.ru](mailto:mordvina.ulya@mail.ru)

**Гапонов Александр Вячеславович**, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой общеобразовательных дисциплин института строительства, архитектуры и жилищно-коммунального хозяйства Луганского государственного университета имени Владимира Даля, г. Луганск.  
**SPIN-код:** 9303-0881, **AuthorID:** 1197978  
**E-mail:** [gjurz@mail.ru](mailto:gjurz@mail.ru)

#### Information about the authors

**Mordvina Yulia Vladimirovna**, senior lecturer of the department of general education disciplines at the Institute of Construction, Architecture and Housing and Communal Services of the Lugansk State University named after Vladimir Dahl.  
**E-mail:** [mordvina.ulya@mail.ru](mailto:mordvina.ulya@mail.ru)

**Gaponov Alexander Vyacheslavovich**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of General Education Institute of Construction, Architecture and Housing and Communal Services of the of Lugansk State University named after Vladimir Dahl  
**SPIN-код:** 9303-0881, **AuthorID:** 1197978  
**E-mail:** [gjurz@mail.ru](mailto:gjurz@mail.ru)

---

**Для цитирования:**

Мордвина Ю.В., Гапонов А.В. 3D-моделирование в строительстве // Вестник Луганского государственного университета имени Владимира Даля. – 2024. – №12(90). – С. 51-54.

**For citation:**

Mordvina Yu.V., Gaponov A.V. 3D Modeling in Construction // Vestnik of Lugansk State University named after Vladimir Dahl. – 2024. – № 12(90). – P. 51-54.

---

УДК 72.025.5

**АДАПТИВНАЯ АРХИТЕКТУРА ПОВТОРНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ****Назарова А. М., Межерицкий С. И., Лукьянова Т. И.****ADAPTIVE REUSE ARCHITECTURE****Nazarova A. M., Mezheritsky S. I., Lukyanova T. I.**

**Аннотация.** Адаптивная архитектура повторного использования представляет собой важный подход в современном градостроительстве и архитектуре, направленный на преобразование и переоснащение существующих неэффективно используемых зданий, сооружений и пространств для выполнения новых функций, при этом сохраняя, насколько это возможно, их историческую и культурную ценность, а также уникальный архитектурный облик. Успешные примеры повторного использования исторических зданий и комплексов в России показывают, что адаптация старых зданий может привести к созданию уникальных пространств, отвечающих современным требованиям общества.

**Ключевые слова:** адаптивная архитектура, повторное использование, перепрофилирование, историческое наследие.

**Abstract.** Adaptive reuse architecture is an important approach in modern urban planning and architecture aimed at transforming and retrofitting existing inefficiently used buildings, structures and spaces to perform new functions, while preserving, as far as possible, their historical and cultural value, as well as their unique architectural appearance. Successful examples of the reuse of historical buildings and complexes in Russia show that the adaptation of old buildings can lead to the creation of unique spaces that meet modern requirements of society.

**Key words:** adaptive architecture, reuse, repurposing, historical heritage.

**Введение.** Данный способ повторного использования зданий становится все более актуальным в условиях глобальных изменений, таких как урбанизация, изменение климата и экономические кризисы. Адаптивная архитектура позволяет не только сохранить историческое наследие, но и эффективно использовать существующие ресурсы, что способствует устойчивому развитию городов России.

Цель статьи – проанализировать отечественный опыт перепрофилирования устаревших зданий, имеющих историческую ценность. Рассмотреть основные подходы к процессу их современного использования, которое может стать ключевым инструментом для возрождения городской среды и улучшения качества жизни населения.

«Адаптивное повторное использование (adaptive reuse) – это процесс, который превращает неиспользуемый или неэффективный элемент в новый, который можно использовать для другой цели» [4]. Адаптивное повторное использование включает в себя несколько ключевых принципов:

1. Сохранение исторического наследия: проекты направлены на сохранение архитектурных особенностей зданий, что позволяет сохранить культурную идентичность мест.

2. Экологическая устойчивость: использование существующих конструкций снижает потребность в новых строительных материалах, что уменьшает объем отходов, связанных со сносом старых зданий.

3. Социальная интеграция: адаптация старых зданий для новых функций способствует созданию общественных пространств, которые могут улучшить качество жизни горожан [2].

С развитием теоретической и практической базы адаптивного использования зданий развивались и различные теории, основанные на разных подходах к решению вопроса. Можно выделить три подхода в отношении адаптивного повторного использования:

- Типологический подход заключается в том, что объект или структура из объектов делится на разные по типологии и функции части: работа, жилье и отдых.

- Технический подход заключается в том, чтобы детально изучить техническое состояние здания, проанализировать его конструктивные особенности и оценить возможность реконструкции. Этот подход может включать использование современных технологий для усиления конструкций, модернизации инженерных систем и повышения энергоэффективности. Часто применяют методы неразрушающего контроля для оценки состояния скрытых элементов конструкции.

- Стратегический подход (сценарный) включает в себе развитие теоретических концепций по развитию территории или объекта. По сути, это долгосрочное планирование, учитывающее изменения в различных сферах [5].

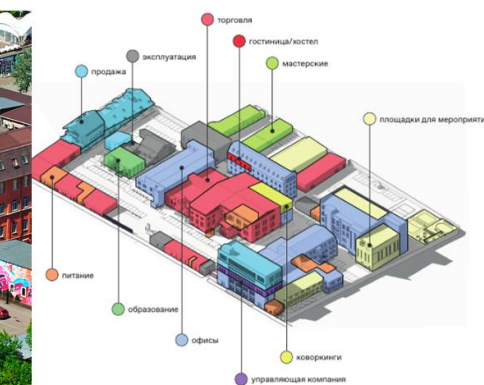


Рис. 1. Дизайн-квартал «Флакон»

За четыре года «Флакон» собрал на своей территории в 25 000 м<sup>2</sup> более 200 компаний в сфере креатива и дизайна. Среди них: архитектурные бюро, мастерские, шоурумы, арт-кафе, телеканалы, рекламные и event-агентства. «Флакон» создан по принципу «города в городе» – с полноценной инфраструктурой для жизни, работы и отдыха. Для компаний есть креативные офисы, а для фрилансеров и стартапов – разнообразные коворкинги. В течение всего года можно посещать многочисленные культурно-развлекательные и образовательные мероприятия. На «Флаконе» работает творческий детский сад и действуют ремесленные мастерские. Расположено 5 ресторанов и более 30 шоу-румов с дизайнерскими товарами [7].

Центр современного искусства «Винзавод» (рис. 2) является первым и самым большим частным центром современного искусства в России, объединяющим галереи, образовательные программы, студии, мастерские и шоурумы. Он расположен на территории бывшего московского комбината виноградных и десертных вин – пивоваренного завода «Московская Бавария». Зарождение фабрики начинается в начале XIX

В России примерами успешного адаптивного повторного использования являются дизайн-квартал «Флакон» и арт-кластер «Винзавод» в Москве, а также «Новая Голландия» в Санкт-Петербурге. Эти проекты демонстрируют, как старые промышленные здания могут быть преобразованы в современные культурные центры [1].

Дизайн-квартал «Флакон» (рис. 1) является отличным примером повторного адаптивного столичной промышленной архитектуры. На протяжении 150 лет бывший хрустальный завод имени Калинина производил флаконы для духов, а с 2009 года стал творческой площадкой для креативной индустрии в Москве.

века, и уже в 1840-х годах это фабрика была второй по величине в Москве.



Рис. 2. Центр современного искусства «Винзавод»

История предприятия весьма плодотворна, и в советское время комбинат лишь расширил ассортимент выпускаемых вин. Но в конце XX века комбинат закрыл свое производство, и в 2007 году на территории завода открылся Центр современного искусства «Винзавод». По замыслу архитектора А. Бродского этот лофт-проект представляет собой комплекс из семи промышленных корпусов конца XIX века. В четырех из них располагаются главные выставочные пространства, которые сохранили

традиционное историческое название винного комбината: «Цех красного», «Цех белого», «Бродильный цех» и «Большое винохранилище». Собрав все направления современной культуры в одном пространстве, открытом для широкой аудитории, Винзавод поддерживает актуальное российское искусство и создает комфортную среду для его развития [8].

«Новая Голландия» (рис. 3) – преобразованный исторический остров с его промышленными зданиями и комплексами в общественное пространство для отдыха и культурных мероприятий в центре Санкт-Петербурга.



Рис. 3. «Новая Голландия»

На протяжении всей своей истории остров был военным объектом и впервые открылся для публики в 2011 году. Сейчас в Новой Голландии разбит парк, где проходят концерты, фестивали, кинопоказы, благотворительные, образовательные и спортивные мероприятия. Каждую зиму на месте центрального газона открывается каток. В бывшем здании кузницы работает ресторан, в морской тюрьме «Бутылка» – кафе, магазины, спортивные секции и студии красоты, в лесном складе «Дом 12» – общественное пространство «Сообщество», а в Доме Коменданта – школа и детский сад [9].

**Выводы.** Адаптивная архитектура повторного использования представляет собой мощный инструмент для достижения устойчивого развития городов. В будущем адаптивная архитектура, безусловно, будет продолжать эволюционировать и расширять свои горизонты. Она сочетает в себе сохранение исторического наследия с современными требованиями к функциональности и экологии, что делает её важным направлением в архитектурной практике. Этот подход уже сейчас демонстрирует свои преимущества, и в ближайшие годы его значение будет только возрастать. Он позволяет не только эффективно использовать пространство и ресурсы, сохраняя культурное наследие, создавая уникальные и комфортные условия для жизни, но и вносит вклад в развитие местных

сообществ, создавая новые рабочие места и возможности для бизнеса. Поэтому необходимо продолжать изучать эту тему для обеспечения гармоничного развития городов и улучшения качества жизни их жителей.

#### Список источников

1. Адаптивная архитектура повторного использования: сохранение наследия и создание будущего. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://profdepo.ru/posts/285> (дата обращения: 14.11.2024).
2. Адаптивное повторное использование зданий, сочетающее сохранение и устойчивость [Электронный ресурс]. URL: <https://constructive-voices.com/ru/адаптивное-повторное-использование-зданий,-сочетающее-сохранение-и-устойчивость/> (дата обращения: 14.11.2024).
3. Гауз Дж. А., Хок Б.М., Макомбер Дж.Д., Роуз Дж.Ф.П. Новое использование устаревших зданий. Институт городских земель. – Вашингтон, Округ Колумбия: Институт городских земель, 1996. – 178 с.
4. Гельфонд, А. Л. Архитектурная типология в аспекте жизненного цикла здания // ACADEMIA. Архитектура и строительство. – 2011. – № 2. – С. 40-47.
5. Чадович А.А. Сохранение или снос? Компромисс! [Электронный ресурс]. URL: <https://marhi.ru/AMIT/2013/1kvar13/chadovich/chadovich.pdf> (дата обращения: 14.11.2024).
6. Цепилова О. П. Анализ опыта повторной адаптации промышленной архитектуры. [Электронный ресурс]. URL: <https://naukaru.ru/ru/nauka/article/40429/view#article-references> (дата обращения: 14.11.2024).
7. Официальный сайт «Флакон». [Электронный ресурс]. URL: <https://flacon.ru/> (дата обращения: 14.11.2024).
8. Официальный сайт «Винзавод». [Электронный ресурс]. URL: <http://www.winzavod.ru/residents/places/> (дата обращения: 14.11.2024).
9. Официальный сайт «Новая Голландия». [Электронный ресурс]. URL: <https://www.newhollandsp.ru/> (дата обращения: 14.11.2024).

#### References

1. Adaptive reuse architecture: preserving heritage and creating the future. [electronic resource]. Access mode: <https://profdepo.ru/posts/285> (date of application: 14.11.2024).
2. Adaptive reuse of buildings, combining conservation and sustainability [Electronic resource]. URL: <https://constructive-voices.com/ru/адаптивное-повторное-использование-зданий,-сочетающее-сохранение-и-устойчивость/> (date of request: 14.11.2024).

3. Gause J. A., Hoke B.M., Macomber J.D., Rose J.F.P. New use of outdated buildings. Institute of Urban Lands. – Washington, DC: Institute of Urban Lands, 1996. – 178 p.

4. Gelfond, A. L. Architectural typology in the aspect of the building life cycle // ACADEMIA. Architecture and construction. – 2011. – No. 2. – pp. 40-47.

5. Chadovich A.A. Preservation or demolition? A compromise! [electronic resource]. URL: <https://marhi.ru/AMIT/2013/1kvart13/chadovich/chadovich.pdf> (date of application: 14.11.2024).

6. Tsepilova O. P. Analysis of the experience of re-adaptation of industrial architecture. [electronic resource]. URL:

<https://naukaru.ru/ru/nauka/article/40429/view#article-references> (accessed date: 14.11.2024).

7. The official website of the "Bottle". [electronic resource]. URL: <https://flacon.ru> // (date of request: 11/14/2024).

8. The official website of the Winery. [electronic resource]. URL: <http://www.winzavod.ru/residents/places> // (date of request: 11/14/2024).

9. The official website of New Holland. [electronic resource]. URL: <https://www.newhollandsp.ru/> (date of request: 14.11.2024).

*Статья поступила в редакцию 19.11.2024*

### Информация об авторах

**Назарова Анна Михайловна**, старший преподаватель кафедры промышленного, гражданского строительства и архитектуры института строительства, архитектуры и жилищно-коммунального хозяйства Луганского государственного университета имени Владимира Даля, г. Луганск.

*SPIN-код: 5767-9362, AuthorID: 1241635*

**E-mail:** [ivasishina.anya@mail.ru](mailto:ivasishina.anya@mail.ru).

**Межерицкий Сергей Иванович**, старший преподаватель кафедры промышленного, гражданского строительства и архитектуры института строительства, архитектуры и жилищно-коммунального хозяйства Луганского государственного университета имени Владимира Даля, г. Луганск.

**E-mail:** [mezheritsky\\_s@mail.ru](mailto:mezheritsky_s@mail.ru).

**Лукьянова Татьяна Игоревна**, старший преподаватель кафедры дизайна среды, Луганская государственная академия Культуры и искусств имени М. Матусовского, г. Луганск.

*SPIN-код: 5006-7236, AuthorID: 1177765*

**E-mail:** [lukyanova\\_t@mail.ru](mailto:lukyanova_t@mail.ru).

### Information about the authors

**Nazarova Anna Mikhailovna**, senior lecturer at the Department of Industrial, Civil Engineering and Architecture of the Institute of Construction, Architecture and Housing and Communal Services of the Luhansk State University named after Vladimir Dahl, Lugansk.

**SPIN-код: 5767-9362, AuthorID: 1241635**

**E-mail:** [ivasishina.anya@mail.ru](mailto:ivasishina.anya@mail.ru).

**Mezheritsky Sergey Ivanovich**, senior lecturer at the Department of Industrial, Civil Engineering and Architecture of the Institute of Construction, Architecture and Housing and Communal Services of the Luhansk State University named after Vladimir Dahl, Lugansk.

**E-mail:** [mezheritsky\\_s@mail.ru](mailto:mezheritsky_s@mail.ru).

**Lukyanova Tatyana Igorevna**, senior lecturer of the Department of Environmental Design, Luhansk State Academy of Culture and Arts named after M. Matusovsky, Lugansk.

*SPIN-код: 5006-7236, AuthorID: 1177765*

**E-mail:** [lukyanova\\_t@mail.ru](mailto:lukyanova_t@mail.ru).

### Для цитирования:

Назарова А. М., Межерицкий С. И., Лукьянова Т. И. Адаптивная архитектура повторного использования // Вестник Луганского государственного университета имени Владимира Даля. – 2024. – № 12(90). – С. 55-58.

### For citation:

Nazarova A. M., Mezheritsky S. I., Lukyanova T. I. Adaptive reuse architecture // Vestnik of Lugansk State University named after Vladimir Dahl. – 2024. – № 12(90). – P. 55-58.

УДК 66.069.82

## АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ НАСТРОЙКИ РЕГУЛИРОВКИ ДАВЛЕНИЯ В ГАЗОРЕГУЛЯТОРНЫХ ПУНКТАХ

Письменная С. А.

## GAS DISTRIBUTION STATION PRESSURE ADJUSTMENT EFFICIENCY ANALYSIS

Pismennaia S. A.

**Аннотация.** В статье проводится анализ регулировки выходного давления в газорегуляторных пунктах (ГРП), включающих настройку выходного давления, параметров срабатывания предохранительного запорного клапана (ПЗК) и встроенного предохранительного сбросного клапана (ПСК).

**Ключевые слова:** газорегуляторный пункт, ГРП, регулятор давления, ПЗК, ПСК, параметры, настройка.

**Abstract.** The article will analyze the adjustment of the outlet pressure in the gas control stations (HRF), including the adjustment of the outlet pressure, the actuation parameters of the safety shut-off valve (BSVC) and the built-in safety relief valve (PSV).

**Key words:** gas control station, hydraulic fracturing, pressure regulator, BSVC, UCS, parameters, adjustment.

**Введение.** Система газопровода обеспечивает газом потребителей различного назначения и давления. Магистральный газопровод, давление в котором может достигать 11,8 мпа, является основным газопроводом, который доставляет природный газ от месторождения до комплекса технического оборудования - газораспределительных станций (грс). Основная задача грс – это качественное редуцирование газа до заданных значений, с точностью до  $\pm 10\%$ , и выдача выходного стабильного давления, независимо от показаний давления на входе в грс. Также в газораспределительных станциях в автоматическом режиме выполняют очистку газа от механических примесей, учитывают расход газа, одоризируют, добавляя в газ такую химическую жидкость, как этилмеркаптан ( $C_2H_5SH$ ) в концентрации 16 г на  $1000\text{ м}^3$  [1].

Дальше грс подает в газораспределительный трубопровод газ с давлением не больше 1,2 Мпа. Это давление необходимо для промышленных предприятий, которые используют его по условиям своих специфических техпроцессов. Для остальных потребителей, которым необходимо давление ниже 1,2 мпа, устанавливают газорегуляторные пункты (грп), в которых расход газа может

быть от 1000 до 30000  $\text{м}^3/\text{ч}$ , или газорегуляторные установки (гру) с расходом газа до 1500  $\text{м}^3/\text{ч}$ .

Газорегуляторными пунктами называется комплекс технологического оборудования и системы автоматизации. Грп предназначены для очистки газа от механических примесей, автоматического снижения давления газа до заданных параметров, поддержания его на заданных уровнях вне зависимости от изменения расхода газа, контроля входного и выходного давлений и температуры газа, перепада давления газа после фильтра [2].

Цель работы заключается в анализе настройки оборудования ГРП. Определить необходимые параметры при выходном давлении газа из ГРП. Раскрыть особенности настройки предохранительного запорного клапана (ПЗК) и встроенного предохранительного сбросного клапана (ПСК).

**Материалы и методы.** В состав ГРП входит следующее основное оборудование:

- фильтр газовый;
- предохранительный запорный клапан (ПЗК);
- регулятор давления;
- предохранительный сбросной клапан (ПСК).

Также дополнительное оборудование: обводной газопровод (байпас), средства измерений, узлы учета, импульсные трубки, сбросные и продувочные свечи, задвижки и шаровые краны.

*В ходе проведенного нами анализа эффективной настройки регулировки выходного давления из ГРП мы определили, какие необходимо учитывать параметры:*

- потери давления в распределительных газопроводах;
- рабочее давление газа перед ГРП;
- заданного максимального рабочего давления после ГРП;
- колебания газа по сети газораспределения;
- расчетную пропускную способность регулятора давления.

Проверка срабатывания предохранительной и защитной арматуры по максимальному и минимальному давлению газа в газопроводах должна проводиться в сроки,

установленные изготовителем, но не реже одного раза в шесть месяцев [3].

Параметры настройки ПЗК и ПСК должны обеспечивать защиту газопроводов на выходе из ГРП, так как недопустимо изменение давления для газоиспользующего оборудования у потребителей.

ПЗК в газорегуляторных пунктах устанавливаются после фильтра и перед регулятором давления. Эта схема сложилась методом проб и ошибок. Сначала при установке оборудования запорный клапан находился после регулятора давления. Но выяснилось, что если регулятор находится под входным давлением, то в некоторых случаях это приводит к проходу газа по импульсным трубкам в выходной газопровод.

#### *Устройство и принцип работы ПЗК*

В предохранительно-запорном клапане имеется клапан 6, который садится на седло 7 в случае аварийной ситуации и перекрывает вход газа. На рис. 1 представлен предохранительно запорный клапан ПЗК типа ПКН.

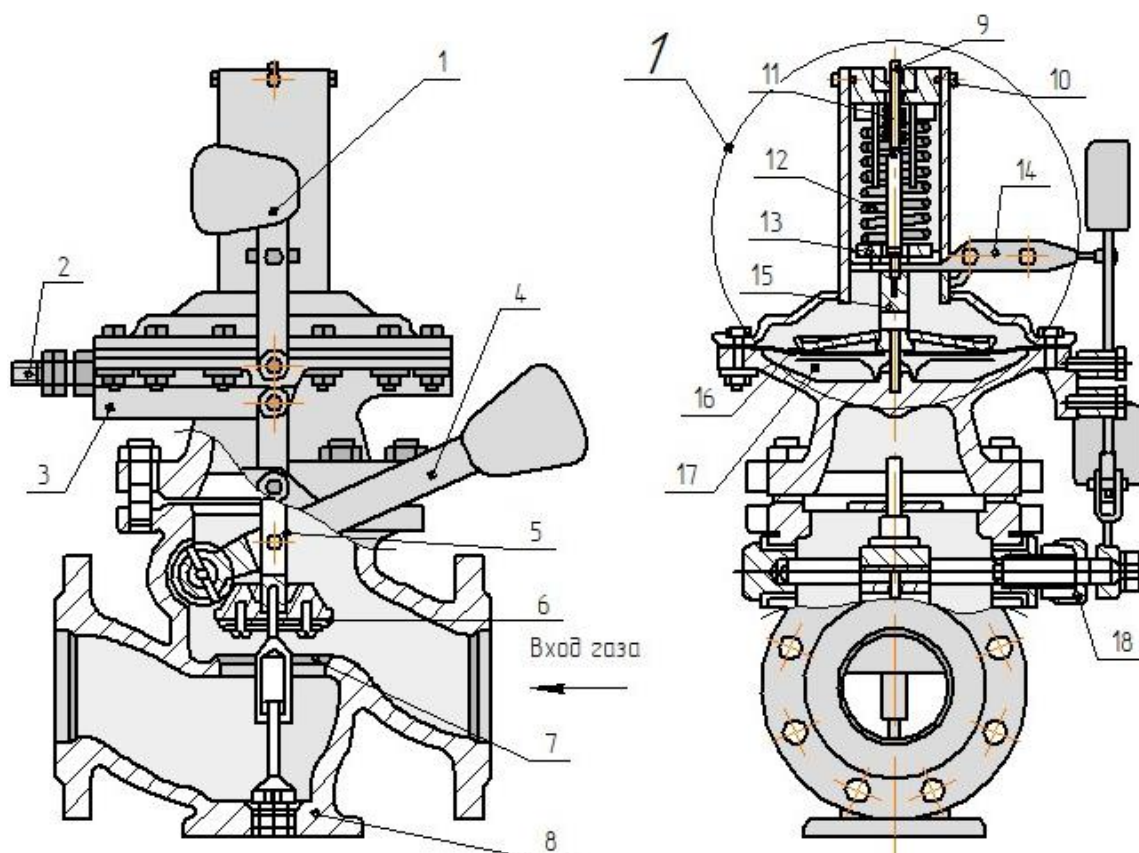


Рис. 1. Предохранительный запорный клапан типа ПКН (ПКВ):

Узел 1; 1 - молоток; 2 - импульсный трубопровод контролируемого давления; 3 - анкерный рычаг; 4 - рычаг; 5 - шток; 6 - клапан; 7 - седло клапана; 8 - корпус; 9 - регулировочная шпилька; 10 - регулировочная втулка; 11 - малая пружина; 12 - большая пружина; 13 - опорная шайба; 14 - коромысло; 15 - шток мембраны; 16 - мембрана; 17 - измерительно-мембранная камера; 18 - сальниковая гайка

У клапана есть резиновое уплотнение, которое обеспечивает герметичность и устраняет протечки, способные привести к аварийной ситуации. Подъем клапана 6 осуществляется при помощи штока 5, закрепленного на поворотном валу, на конце которого крепится рычаг 4.

Когда открывается клапан 6, рычаг 4 цепляется с анкерным рычагом 3, который установлен на фланце. При открытии клапана 6 необходимо рычаг 4 поднять до зацепления его с анкерным рычагом 3, клапан поднимаясь открывает проход газу, газ из сети поступает под мембрану 16 по импульсному трубопроводу контролируемого давления 2.

Когда давление газа растет выше заданного предела, установленного пружиной верхнего предела 12, мембрана 16 пойдет вверх, поворачивая коромысло 14, при этом наружный конец выйдет из зацепления с упором молотка 1. Молоток 1 упадет под действием груза на свободный анкерный рычаг 3 освобождая укрепленный на валу рычаг 4. Под действием собственного веса и веса груза рычага 4, клапан 6 опустится на седло 7 корпуса 8, что перекроит проход газа.

Когда давление газа опускается ниже заданного нижнего предела, которое устанавливается малой пружиной нижнего предела 11, тогда мембрана 16 под действием малой пружины 11 идет вниз и опускает внутренний конец коромысла 14. И наружный конец коромысла 14 выйдет из зацепления с упором молотка 1, который упадет и закроет клапан 6.

Про взаимодействие двух пружин малой и большой и мембраны необходимо объяснить подробнее, узел 1 представлен на рис. 2 (обозначения см. на рис. 1).

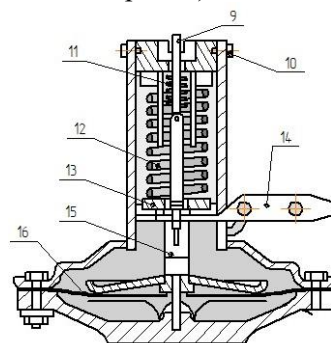


Рис.2. Узел 1. Пружины и мембранная коробка клапана ПКН

При подаче газа контроль давления осуществляется мембраной 16, на которую с

одной стороны подается газ из выходного газопровода, с другой – воздействуют две пружины, большая и малая. Большая пружина 12 имеет больший диаметр и изготавливается из более толстой проволоки.

Большая пружина 12 удерживает мембрану 16. При повышении давления выше заданного предела выходного давления усилие мембраны 16 превышает силу пружины 12, пружина приходит в движение и закрывает клапан 6, представленный на рис. 1. А при уменьшении выходного давления ниже заданных параметров нижнего предела малая пружина 11 перемещает мембрану 16, что также приводит к закрытию клапана 6.

Взаимодействие между мембраной 16 и пружин 11 и 12 передается клапану с помощью различных механизмов. При настройке ПКН на пределы срабатывания для нижнего предела используют регулировочную шпильку 9, а для верхнего предела используют регулировочную втулку 10, которые и изменяют пределы срабатывания клапана сжиманием или разжиманием пружины.

При настройке верхнего предела ПКН для газопроводов высокого давления (от 0,3 до 1,2 Мпа) не должно быть выше 1,3 Р; для газопроводов среднего давления (от 0,005 до 0,3 Мпа) не должно быть выше 1,4 Р; для газопроводов низкого давления (ниже 0,005 Мпа) не должно быть выше 1,5 Р [4].

При настройке предохранительного клапана на открытие необходимо учитывать заданные значения, где отклонения давления не должны превышать +/- 5%. При выборе значения отклонения на закрытие клапана от давления открытия должно выбираться из: 2.5 %; 5 %; 10 %.

Метод настройки ПКН при срабатывании клапана по верхнему пределу:

- поднимаем молоток 1 (рис. 1) в вертикальное положение (можно привязать его к крышке);
- смотрим на манометр и регулятором на выходе устанавливаем верхний предел давления срабатывания клапана и прекращения подачи газа;
- удерживаем отверткой винт настройки на низкое давление;
- спецключом, вставленным в пазы регулировочной гайки, вращаем гайку привода в движение большую пружину 12 (рис. 1), до тех пор, пока коромысло 14 не войдет в

зацепление с выступом на молотке 1. Причем это зацепление должно быть слегка;

- закручиваем фиксирующие винты на верхней крышке;
- настройку ПЗК прогоняем несколько раз на срабатывание.

Настройка нижнего предела срабатывания клапана учитывается:

- с учетом потерь давления газа в трубопроводах;
- минимального давления перед газовым оборудованием;
- с учетом документации от изготовителя характеристик газового оборудования.

Как указывалось выше, за предохранительным запорным клапаном по ходу движения газа в ГРП устанавливают регулятор давления. Регулятор давления газа – это автоматически действующее устройство, необходимое для поддержания постоянного давления газа. По принципу работы регуляторы бывают прямоточные и комбинированные. При работе регулятора давления начальное среднее или высокое давление снижается до конечного низкого [5].

За регулятором давления в газораспределительных пунктах устанавливают

предохранительно-сбросные клапаны (ПСК), при наличии расходомера устанавливают после расходомера.

Назначение ПСК: при кратковременном повышении давления клапан должен сбросить газ в атмосферу (не более 15%), для обеспечения безопасной работы газового оборудования у потребителей.

Сначала срабатывает клапан ПСК, у которого предел 15%, затем срабатывает ПЗК, у которого предел 25%. После сброса избыточного давления газа клапан ПСК должен плотно закрываться.

Устройство и принцип работы ПСК показаны на рис. 3. ПСК с рабочим газопроводом соединен через боковой патрубок. При повышении давления газа выше заданного предела мембрана 6 сжимается настроечной пружиной 3 и клапаном 8, соединенным с мембраной, открывается, освобождая выход газа, который выходит через сбросную свечу в атмосферу. Как только уменьшается давление пружина ослабляется, клапан перекрывает седло и сброс газа прекращается.

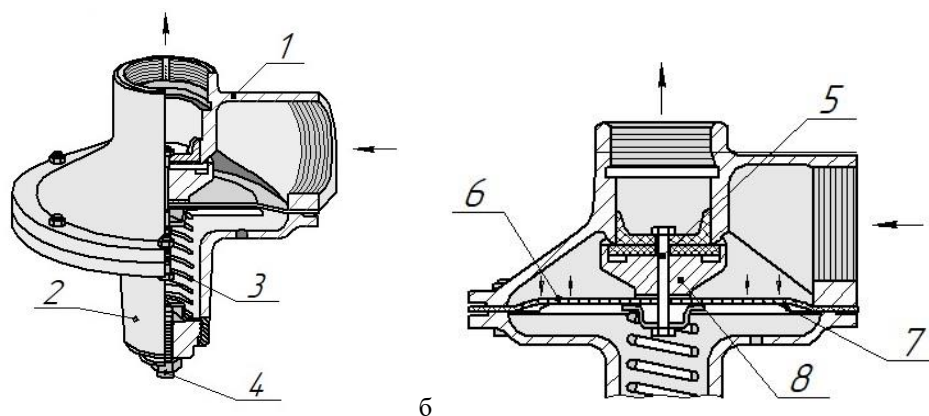


Рис. 3. Предохранительно-сбросной клапан (ПСК): а) – внешний вид с  $\frac{1}{4}$  в разрезе; б) разрез; 1 - корпус; 2 - крышка; 3 - пружина; 4 - винт регулировочный; 5 - болт; 6 - мембрана; 7 - тарелка; 8 - клапан

Перед ПСК должно быть установлено опломбированное в открытом положении отключающее устройство.

Для настройки срабатывания предохранительно-сбросного клапана ПСК необходимо:

- открутить защитную пробку на регуляторе;
- вставить спецключ в шестигранное отверстие до упора;

- вращать по часовой стрелке для увеличения давления газа;
- вращать против часовой стрелки для уменьшения давления;
- после регулировки защитную пробку регулятора установить в исходное положение.

**Выводы.** Характер настройки и регулирования арматуры различен. Для правильной регулировки необходимо знать параметры входного и выходного давления. Рассчитывать потери давления в

распределительных газопроводах. Учитывать колебания газа по сети газораспределения. Знать расчетную пропускную способность регулятора давления. Выполнять проверку срабатывания предохранительной и защитной арматуры по максимальному и минимальному давлению газа не реже 1 раза в шесть месяцев.

#### Список источников

1. Малих А. А. Регулирование параметров газа при его прохождении на газорегуляторных пунктах блочных / А. А. Малих. — Текст : непосредственный // Молодой ученый. — 2022. — № 22 (417). — С. 97-99. — URL: <https://moluch.ru/archive/417/92391/>.
2. ГОСТ 34670-2020. Системы газораспределительные. Пункты редуцирования газа. Основные положения [Текст]: нормативно-технический материал Москва: [б.и.], 2020. — 9 с.
3. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности систем газораспределения и газопотребления». Серия 12. Выпуск 13. М.: Закрытое акционерное общества «Научно-технический центр исследований проблем промышленной безопасности», 2014. 60 с. ISBN978-5-9687-0576-1.
4. ГОСТ Р 54983-2012 Национальный стандарт российской федерации. Сети газораспределения природного газа М.: Стандартиформ, 2013

#### Информация об авторах

**Письменная Светлана Анатольевна**, старший преподаватель кафедры «Вентиляции, теплого- и водоснабжения» Луганского государственного университета имени Владимира Даля, г. Луганск.  
**E-mail:** pismennaja.svetlana@mail.ru

5. Мариненко Е.Е. Газоснабжение : учебное пособие / Е.Е. Мариненко, Т.В. Ефремова ; Волгогр. Гос. Архит.-строит. Ун-т Волгоград : ВолГАСУ, 2008. 222 с.

#### References

1. Malikh A. A. Control of gas parameters during its passage at gas control points of block/A. A. Malikh. - Text: direct//Young scientist. — 2022. — № 22 (417). - S. 97-99. URL: <https://moluch.ru/archive/417/92391/>.
2. GOST 34670-2020. Gas distribution systems. Gas reduction stations. Main provisions [Text]: normative and technical material Moscow: [b.i.], 2020. - 9 s.
3. Federal rules and regulations in the field of industrial safety "Safety rules for gas distribution and gas consumption systems." Series 12. Issue 13. - M.: Closed Joint-Stock Company Scientific and Technical Center for Industrial Safety Research, 2014. - 60 p. ISBN978-5-9687-0576-1.
4. GOST R 54983-2012 National Standard of the Russian Federation. Natural gas distribution networks - Moscow: Standartinform, 2013
5. Marinenko E.E. Gas supply: textbook/E.E. Marinenko, T.V. Efremova; Volgogr. State. Archit.-Stroit. University Volgograd: VolgaGASU, 2008. 222 pp.

*Статья поступила в редакцию 12.09.2024*

#### Information about the author

**Pismennaia Svetlana Anatolievna**, senior lecturer, Department of Ventilation, Heating, Gas and Water Supply of the Lugansk State University named after Vladimir Dahl, Lugansk.  
**E-mail:** pismennaja.svetlana@mail.ru

---

#### Для цитирования:

Письменная С.А. Анализ эффективности настройки регулировки давления в газорегуляторных пунктах // Вестник Луганского государственного университета имени Владимира Даля. — 2024. — № 12(90). — С. 59-63.

#### For citation:

Pismennaia S.A. Gas distribution station pressure adjustment efficiency analysis // Vestnik of Lugansk State University named after Vladimir Dahl. — 2024. — № 12(90). — P. 59-63.

---

УДК 699.865

## УСТРОЙСТВО ТОНКИХ ТЕПЛОЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ НАРУЖНЫХ СТЕН ПРИ ТЕКУЩЕМ РЕМОНТЕ

Ратушная Е. В., Никифорова И. П., Засько В. В.

## DEVICE OF THIN HEAT PROTECTIVE COATINGS EXTERIOR WALLS IN CURRENT REPAIR

Ratushnaya E.V., Nikiforova I.P., Zasko V.V.

**Аннотация.** В статье рассмотрена технология текущего ремонта наружных стен зданий и сооружений военной инфраструктуры с нанесением тонких теплозащитных покрытий с применением наполнителей из микросфер или аэрогелей, позволяющих значительно повысить тепловую защиту наружных стен и снизить теплопотери в окружающую среду.

**Ключевые слова:** энергоэффективность, теплозащита наружных стен, тонкослойные (окрасочные) теплозащитные покрытия, микросферы, аэрогель, капитальный ремонт, текущий ремонт.

**Abstract.** The article discusses the technology of the current repair of the external walls of buildings and structures of the military infrastructure with the application of thin heat-protective coatings using fillers from microspheres or airgels, which can significantly increase the thermal protection of the external walls and reduce heat loss to the environment.

**Key words:** energy efficiency, thermal protection of external walls, thin-layer (paint) heat-protective coatings, microspheres, airgel, overhaul, current repair.

**Введение.** Экономное расходование энергетических ресурсов при эксплуатации существующих зданий и сооружений является актуальной задачей. Действующими нормативными документами предусмотрено значительное снижение потребления энергоресурсов [1].

Существующие здания и сооружения не в полной мере соответствуют требованиям энергоэффективности. Большинство отопляемых зданий, построенных до 2000 года, имеют теплопотери через ограждающие конструкции выше нормативных.

Это связано не только с физическим износом, но и с фактором морального старения из-за несоответствия реализованных ранее проектных решений современным требованиям по энергоэффективности и энергосбережению [2].

**Целью статьи является** анализ существующих методов теплоизоляции зданий при капитальном ремонте и реконструкции и современных технологий устройства тонких теплозащитных покрытий, позволяющих повысить энергоэффективность зданий и сооружений без капитального ремонта в ходе планового текущего ремонта.

**Изложение основного материала.** Одним из наиболее простых и рациональных путей экономии тепловой энергии, необходимой для

компенсации теплопередачи через ограждающие конструкции в наружную окружающую среду и нагревания поступающего в помещения наружного воздуха, является их теплоизоляция. Теплоизоляцию наружных стен, помимо основных конструкционных материалов, обеспечивают применяемые теплоизоляционные материалы.

Наиболее распространенными среди них являются минеральная и каменная вата – 77 %; пенополистирол – 21 %; пенополиуретан и другие материалы – 2 %.

Теплоизоляция может выполняться как снаружи, так и изнутри наружных стен зданий и сооружений. Утепление снаружи здания более эффективно, так как защищает стены от атмосферных воздействий, сдвигает точку росы во внешний теплоизоляционный слой и исключает отсыревание внутренней части стены, не уменьшает полезную площадь помещений, позволяет выполнять работы без прекращения эксплуатации помещений.

Утепление наружной поверхности стен выполняют с устройством «вентилируемого фасада» или «мокрого фасада» [3]. При устройстве «мокрого фасада» теплоизоляция из минераловатных полужестких плит прикрепляется к стене дюбелями с последующим ее декоративным тонкослойным оштукатуриванием по полимерной сетке.

Недостатками этого способа являются наличие мокрых процессов и опасность появления трещин в штукатурке при деформациях стены и увлажнение утеплителя с потерей изоляционных свойств, переувлажнение минераловатной теплоизоляции с значительным ухудшением теплозащитных свойств (ее теплопроводность возрастает на порядок и более). От влажной минеральной ваты влага проникает и в другие конструкционные материалы (бетон, кирпич), которые также теряют свои теплозащитные качества.

Гарантийный срок эксплуатации минераловатной теплоизоляции не превышает 15 лет, что значительно меньше нормируемого срока эксплуатации без капитального ремонта.

Устройство «вентилируемого фасада» предусматривает крепление сборной теплоизоляции с помощью дюбелей к стене, а затем установку на некотором расстоянии от нее на кронштейнах каркаса, к которому крепят декоративные панели или плиты облицовки. Наличие вентилируемого пространства обеспечивает удаление влаги из утеплителя, улучшение звукоизоляции.

Недостатками вентилируемых фасадов является большая по сравнению с «мокрым фасадом» стоимость, нарушения пожаростойкости и вентиляции стен, намокание минераловатных плит при некачественном выполнении работ.

Оба способа утепления обеспечивают полное соответствие требованиям энергоэффективности, но реализуются только при капитальном ремонте или реконструкции фасадов зданий и сооружений после длительного периода эксплуатации. Современные технологии устройства тонких теплозащитных покрытий позволяют повысить энергоэффективность зданий и сооружений без капитального ремонта в ходе планового текущего ремонта.

Для этого используют теплозащитные окрасочные составы, инновационно отличающиеся по своим структуре, свойствам и принципу действия. Они представляют собой акриловое связующее и наполнитель из полых микросфер (стеклянных, керамических, силикатных) диаметром 10...80 мкм с концентрацией 30...60 % по объему. Микросферы могут быть газонаполненные (с воздухом), вакуумированные или с ячеистой микроструктурой, содержащей воздушные полости. В отличие от существующих теплоизоляционных материалов, препятствующих только конвективной теплопередаче с наружной поверхности стены в окружающее пространство, такие покрытия также эффективно отражают и инфракрасное излучение стены в атмосферу и на земную поверхность.

Эффективность снижения процесса теплопередачи такими покрытиями определяется не только их способностью отражать инфракрасное излучение, но и препятствовать теплопередаче из-за высокого термического сопротивления. Расчеты показывают, что с учетом этих факторов эффективность теплозащиты ограждающих конструкций может возрасти на 20 % и более [4]. Паропроницаемость у таких составов обеспечивает естественную вентиляцию стен. Покрытие бесшовное.

Другим перспективным направлением повышения теплозащиты стен является применение тонкослойных покрытий на основе аэрогелевых компонентов. Аэрогель представляет собой гель, в котором отсутствует жидкая фаза. По внешнему виду он похож на высохшую мыльную пену. Структура аэрогеля представляет собой каркас из объединенных в кластеры частиц (глинозёмов, диоксида кремния, оксидов хрома и олова) размером 2...5 нанометров и воздушных пор размерами до 80 нанометров. Плотность аэрогеля, состоящего из твердых частиц всего на 0,02 % по объему, всего в полтора раза больше плотности воздуха. Несмотря на это он обладает достаточной прочностью и низкой теплопроводностью.

Тонкие теплозащитные покрытия, обладая уникальными свойствами дополнительной теплозащиты, высокой адгезией с другими материалами одновременно являются и отделочным покрытием. Технология нанесения теплозащитных окрасочных составов включает подготовку поверхностей и послойное нанесение теплозащитных окрасочных составов.

Подготовка поверхности предусматривает ее очистку, грунтовку, заполнение трещин и раковин, шпатлевку, шлифовку и обеспыливание поверхности. Очистку фасадов производят сверху вниз веерной струей воды под давлением 4...20 МПа, а при значительных загрязнениях – с применением специализированных очищающих средств. Для механизированной очистки и промывки поверхностей применяют гидроструйные аппараты высокого давления, обеспечивающие подмешивание в струю воды моющих средств при концентрации рабочего раствора 0,2...0,3 %. После очистки фасада вся поверхность обрабатывается гидрофобизатором, который наносится в 2...3 слоя с промежуточной естественной сушкой. Шпатлевку наносят за один раз толщиной не более 1...2 мм с помощью шпатлевочных агрегатов с выравниванием шпателями и гладилками. После окончательного твердения неровности на поверхности шлифуют с помощью с помощью электрошлифовальных машинок и очищают от пыли промышленным пылесосом.

Нанесение теплозащитных окрасочных составов выполняется механизировано с помощью агрегатов безвоздушного распыления. В труднодоступных местах и на участках площадью до 100 м<sup>2</sup> состав наносят вручную с помощью валиков и кистей. При механизированном нанесении толщина слоя теплозащитного покрытия составляет 0,5...1 мм, при ручном нанесении 1...2 мм. Нанесение последующего слоя выполняют после высыхания предыдущего. Срок сушки не менее 24 часов. Количество слоев определяют в зависимости от проектируемой степени теплозащиты, но не менее двух.

**Выводы.** Применение нового поколения теплозащитных материалов и устройство с их помощью тонких теплозащитных покрытий значительно расширяет возможности повышения энергоэффективности эксплуатации существующих зданий и сооружений.

#### Список источников

1. СП 50.13330.2012 Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003. – М.: ФАУ ФСИ, 2013. – 100 с.
2. Юдина А. Ф., Евтюков С. А., Тилинин Ю. И. Развитие технологий жилищного строительства в Санкт-Петербурге // Вестник гражданских

#### Информация об авторах

**Ратушная Елена Васильевна**, преподаватель профессиональных дисциплин Луганского архитектурно-строительного колледжа имени А.С. Шеремета.  
**E-mail:** elena.v2709@mail.ru

**Никифорова Ирина Петровна**, преподаватель профессиональных дисциплин Луганского архитектурно-строительного колледжа имени А.С. Шеремета.  
**E-mail:** irina.22.1956@mail.ru

**Засько Виталий Васильевич**, к.т.н., доцент, заведующий кафедрой «Проектирование и технологии строительства» Луганского государственного университета имени Владимира Даля.  
*SPIN-код:* 2433-1140, *AuthorID:* 1187435  
**E-mail:** vizasko@yandex.ru

инженеров. – 2019 – № 1 (72). СПб.: СПбГАСУ, 2019. – С. 110–119.

3. Бирюков А. Н., Шварц М. С., Денисов В. Н. Роль тепловой инерции в защите ограждающих конструкций от промерзания в сибирских регионах. Ежемесячный научно-технический и производственный журнал / г. Москва ООО «СДМ-Пресс», «Строительные и дорожные машины», – 2016. – № 10. – С. 42-45.

#### References

1. SP 50.13330.2012 Thermal protection of buildings. Updated version of SNiP 23-02-2003. Moscow: FAA FTS, – 2013. – 100 p.
2. Yudina A. F., Yevtyukov S. A., Tilinin Yu. I. Development of housing construction technologies in St. Petersburg / Bulletin of Civil Engineers. – 2019 – № 1 (72). St. Petersburg: SPBGASU, – 2019. – Pp. 110-119.
3. Biryukov A. N., Schwartz M. S., Denisov V. N. The role of thermal inertia in protecting enclosing structures from freezing in the Siberian regions. Monthly scientific, technical and production magazine / Moscow, LLC SDM-Press, "Construction and road machines". – 2016. – № 10. – pp. 42-45.

*Статья поступила в редакцию 18.10.2024*

#### Information about the authors

**Ratushnaya Elena Vasilievna**, teacher of professional disciplines at the A.S. Sheremet Lugansk College of Architecture and Civil Engineering.  
**E-mail:** elena.v2709@mail.ru

**Nikiforova Irina Petrovna**, teacher of professional disciplines at the A.S. Sheremet Lugansk College of Architecture and Civil Engineering.  
**E-mail:** irina.22.1956@mail.ru

**Zasko Vitaly Vasilievich**, Ph.D., Associate Professor, Head of the Department of Design and Construction Technology of Lugansk State University named after Vladimir Dahl.  
*SPIN-код:* 2433-1140, *AuthorID:* 1187435  
**E-mail:** vizasko@yandex.ru

#### Для цитирования:

Ратушная Е.В., Никифорова И.П., Засько В.В. Устройство тонких теплозащитных покрытий наружных стен при текущем ремонте // Вестник Луганского государственного университета имени Владимира Даля. – 2024. – № 12(90). – С. 64-66.

#### For citation:

Ratushnaya E.V., Nikiforova I.P., Zasko V.V. Device of thin heat protective coatings exterior walls in current repair // Vestnik of Lugansk State University named after Vladimir Dahl. – 2024. – № 12(90). – P. 64-66.

УДК 628.16

## СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ СИСТЕМ ВОДОПОДГОТОВКИ ДЛЯ ТЕПЛОГЕНЕРИРУЮЩИХ УСТАНОВОК

Ремень В. И., Шевцова Т. Е.

## THE CURRENT STATE OF WATER TREATMENT SYSTEMS FOR HEAT GENERATING PLANTS

Remen V. I., Shevtsova T. E.

**Аннотация.** В работе приведен обзор методов и технологий водоподготовки для теплогенерирующих установок. Современные системы водоподготовки играют решающую роль в повышении эффективности и надёжности теплогенерирующих установок. Выбор оптимального комплекса методов обеспечивает создание качественного пара и предотвращает проблемы, связанные с накипью, коррозией и другими негативными явлениями.

**Ключевые слова:** водоподготовка, теплогенерирующие установки, методы обработки воды, докотловая обработка, внутрикотловая обработка.

**Abstract.** The paper provides an overview of methods and technologies of water treatment for heat generating plants. Modern water treatment systems play a crucial role in improving the efficiency and reliability of heat generating plants. Choosing the optimal set of methods ensures the creation of high-quality steam and prevents problems associated with scale, corrosion and other negative phenomena.

**Key words:** water treatment, heat generating plants, water treatment methods, pre-boiler treatment, intracottle treatment.

**Введение.** Вода является одним из ключевых природных ресурсов, играющим жизненно важную роль в существовании живых организмов и функционировании различных отраслей промышленности. От теплоэнергетики и машиностроения до металлургии и других важнейших секторов вода выступает незаменимым компонентом технологических процессов [1].

С ростом потребностей в тепловой энергии возрастает и потребность в воде для теплогенерирующих установок. Однако прямое использование природной воды в этих системах недопустимо. Природная вода содержит значительное количество минеральных и органических примесей, которые могут привести к серьёзным проблемам, таким как образование накипи, коррозия и снижение КПД оборудования.

Поэтому водоподготовка для теплогенерирующих установок является неотъемлемой частью их эффективного функционирования. Она включает в себя комплекс мер, направленных на очистку воды от вредных примесей и создание оптимальных условий для работы оборудования [2].

Целью статьи является обзор методов и технологий водоподготовки для теплогенерирующих установок.

**Методы докотловой обработки воды.** Основные виды обработки:

*Предварительная обработка:* отстаивание: удаляет взвешенные частицы, но неэффективно для растворённых веществ.

Отстаивание природной воды проводят в специальных отстойниках, представляющих собой резервуары, в которых из воды удаляются механические примеси [4].

*Докотловая обработка:* отвечает за финишную подготовку воды перед подачей в котёл.

- Фильтрация: удаляет оставшиеся взвешенные частицы.

- Деаэрация: удаляет растворённые газы, особенно кислород, который вызывает коррозию.

- Добавление реагентов: для регулировки pH, предотвращение образования накипи и коррозии.

Далее для очищения воды используют мембранные технологии, разновидности и характеристики которых приведены в табл. 1.

Таблица 1

Виды и характеристики мембранной очистки воды

| Технология       | Диаметр пор мембраны, мкм | Размер задерживаемых частиц, мкм | Рабочее давление, Мпа | Производители, кг/м <sup>2</sup> ·ч |
|------------------|---------------------------|----------------------------------|-----------------------|-------------------------------------|
| Микрофильтрация  | 10-0,05                   | 0,02-10                          | 0,01-0,1              | 100                                 |
| Ультрафильтрация | 0,01-0,02                 | 0,001-0,02                       | 0,2-1                 | 10-50                               |
| Нанофильтрация   | 0,001-0,01                | 0,001-0,01                       | 6-8                   | 10-50                               |
| Обратный осмос   | 0,001-0,0001              | 0,0001-0,001                     | -                     | 0,5-100                             |

**Мембранная очистка:**

- Микрофильтрация: удаляет частицы размером до 0,1 микрон, но не растворённые вещества.

- Ультрафильтрация: удаляет частицы размером до 0,01 микрон, бактерии и вирусы.

- Нанофильтрация: удаляет некоторые растворённые соли, но не все.

- Обратный осмос: самый эффективный метод, удаляет почти все растворённые вещества, но требует высокого давления. При этом удаляются ионы натрия ( $\text{Na}^+$ ), кальция ( $\text{Ca}^{2+}$ ), железа ( $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ), алюминия ( $\text{Al}^{3+}$ ), хлора ( $\text{Cl}^-$ ). В результате получают умягченную воду, способствующую стабильной работе теплогенерирующих установок. В результате на водоподготовительных установках в настоящее время преимущественно используют метод обратного осмоса [5], [6].

- Коагуляция: свёртывает мелкие частицы в более крупные для последующего удаления, например,  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  и  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  [3].

**Реагентное умягчение:**

- Известкование: удаляет жёсткость ( $\text{Ca}$ ,  $\text{Mg}$ ) путём осаждения карбоната кальция.

- Содоизвесткование: более комплексный процесс, удаляет жёсткость и щелочность ( $\text{NaHCO}_3$ ), образует новые соединения, которые устраняют с помощью отстаивания или фильтрации [7].

**Ионный обмен:**

- Натрий-катионирование: заменяет ионы жесткости ( $\text{Ca}$ ,  $\text{Mg}$ ) на ионы натрия, повышая общую минерализацию.

- Водород-катионирование: заменяет ионы жесткости на ионы водорода, понижая pH воды.

Натрий-катионирование основано на замещении ионов кальция ( $\text{Ca}^{2+}$ ) и магния ( $\text{Mg}^{2+}$ ) на ионы натрия ( $\text{Na}^+$ ) из ионообменных материалов. Данный метод может осуществляться как в одну, так и в две ступени.

Технология натрий-катионирования в одну ступень: вода проходит через слой катионита, умягчается и направляется в накопительный бак, из этого бака она подается в необходимое место.

Технология натрий-катионирования в две ступени: соли жесткости задерживаются на фильтрах первой ступени, при этом на второй

ступени происходит снижение остаточной жесткости [9].

Водород-катионирование используют с натрий-катионированием, благодаря чему происходит нейтрализация кислотности и снижение щелочности воды [10].

Водород-натрий-катионирование основано в смешивании двух потоков воды: кислой и щелочной. Благодаря использованию этого метода можно получить умягченную воду с заданной величиной щелочности. Данная технология может осуществляться по схемам параллельного, последовательного и совместного катионирования [11].

**Методы внутрикотловой обработки воды**

*Внутрикотловая обработка:* поддерживает оптимальный режим работы котла.

- Продувка: удаляет накопившиеся соли из котла, предотвращая образование накипи.

- Химическая обработка: регулярное добавление химических реагентов для предотвращения коррозии и накипи.

Эти способы используются для стабилизации минерального состава воды [13].

Продувка основывается на устранении из барабана системы воды, обладающей высокой степенью солесодержания, и замещением ее водой, обладающей низким солесодержанием. Схема продувки показана на рис. 1.

Питательная вода подается в барабан по трубе в верхней части барабана. В свою очередь труба в нижней части барабана служит местом сбора и отвода продувочной воды.

В целом продувку используют при устранении шлама, накапливающегося в нижних коллекторах и барабанах установки [3], [14].

Деаэрация воды применяется для удаления из воды веществ, приводящих к коррозии ( $\text{O}_2$ ,  $\text{CO}_2$ ).

Выделяют три вида аэрации:

- Химическая: добавление в воду сульфата натрия для удаления кислорода;

- Каталитическая: удаление из воды коррозионных веществ при помощи водорода;

- Термическая: главный способ удаления коррозионных веществ из воды, основанный на применении закона растворимости газов в жидкости.



В составе деаэратора выделяют бак и колонку. Вода по верхней части колонки поступает в охладитель. Далее она попадает в бак и нагревается при помощи пара. При нагреве из воды выделяются газы, поступающие в охладитель. В охладителе выделившиеся газы конденсируются. Конденсат поступает по трубке в деаэратор, а газы в свою очередь удаляются. Очищенная от газов питательная вода из нижней части бака идет к котлам [2].

Помимо классических видов деаэрации, существуют и другие: ультразвуковая (воздействие на воду ультразвуком, способствующим связыванию частиц газов и выталкиванию их наружу) и мембранная с применением азота (наличие в баке мембраны, на которую подается вода и азот, связывающийся с частицами газа в воде и выделяющий их наружу). Однако по степени сочетания качества работы и финансовых затрат востребованным способом подготовки воды для теплогенерирующих установок является термическая деаэрация [16].

Таким образом, методы внутрикотловой обработки воды являются эффективным способом защиты оборудования от образования накипи и коррозии.

#### **Важные моменты:**

Выбор методов водоподготовки зависит от:

- Состав исходной воды (жесткость, щелочность, содержание солей, органических веществ).
- Типа и мощности теплогенерирующей установки.
- Требования к качеству пара и воды.
- Современные системы водоподготовки всё чаще используют автоматизированные системы управления для повышения точности и оптимизации работы.
- Экономическая эффективность: оптимальная водоподготовка минимизирует расходы на ремонт и обслуживание оборудования, а также повышает КПД теплогенерирующей установки.

#### **Дополнительные аспекты:**

- Экологичность: растущая потребность в экологически чистых методах водоподготовки, минимизирующих образование отходов.
- Инновации: развитие новых мембранных технологий, повышение эффективности ионного обмена, применение биологических методов очистки.

**Выводы.** В статье мы рассмотрели основные методы и технологии водоподготовки, используемые в теплоэнергетике, а также их влияние на эффективность и надёжность работы теплогенерирующих установок.

Выбор того или иного метода существенно зависит от состава исходных вод, а также применяемого оборудования. Предварительная водоподготовка наряду с внутрикотловой обработкой воды позволяет поддерживать оптимальный режим работы теплогенерирующих установок, а также минимизировать затраты на обслуживание и ремонт оборудования.

При своевременной и правильной водоподготовке исключаются образование отходов, сточных вод, а также загрязнение водоемов, кроме того, повышается экологическая безопасность предприятий теплоэнергетики.

#### **Список источников**

1. Селиванов О.Г. Оценка эффективности противоточных схем работы натрий-катионитовых фильтров в процессах умягчения воды / О.Г. Селиванов, Е.С. Пикалов, Л.Н. Романова // Инженерный вестник Дона. – 2022. – 7 (91). – С. 318-330.
2. Ларин Б.М. Совершенствование водоподготовки на ТЭС / Б.М. Ларин, Е.Н. Бушуев, А.Б. Ларин // Теплоэнергетика. – 2015. – 4. – с. 58-64.
3. Карауш С.А. Теплогенерирующие установки систем теплоснабжения: Учебное пособие для студентов вузов / С.А. Карауш, А.Н. Хуторной. – Томск: Томский государственный архитектурно-строительный университет, 2003. – 161 с.
4. Иванов М. Отстойники в очистных системах / М. Иванов // Коммунальный комплекс России. – 2016. – С. 7.
5. Павлов Ю.Н. Применение современных методов очистки воды на ТЭЦ и котельных / Ю.Н. Павлов, В.С. Смирнов // Сборник избранных статей по материалам научных конференций ГНИИ «Нацразвитие»; – Санкт-Петербург: Нацразвитие, 2021. – С. 52-57.
6. Мосин О.В. Баромембранные процессы и аппараты водоподготовки / О.В. Мосин // Сантехника, отопление, кондиционирование. – 2013. – 3. – с. 34-42.
7. Гужулев И.П. Водоподготовка и водно-химические режимы в теплоэнергетике / И.П. Гужулев – Омск: ОмГТУ, 2005. – 384 с.
8. Горбань Я.Ю. Методы удаления из воды солей кальция и магния / Я.Ю. Горбань, Т.Г. Черкасова, А.В. Неведров // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2016. – 2. – С. 126-135.
9. Савочкин А.Ю. Водоподготовка для котельных / А.Ю. Савочкин // Сантехника, отопление, кондиционирование. – 2011. – 1. – С. 68-71.
10. Волков В.Н. Современные технологии обратного осмоса и ионного обмена в системах водоподготовки теплоснабжения: эффективность и экологичность / В.Н. Волков, С.А. Горбунов // Энергосбережение и водоподготовка. – 2010. – 4. – С. 13-15.

11. Самойлов А.В. Химводоподготовка для котельных и пунктов теплоснабжения / А.В. Самойлов, А.Ю. Козлов // Энергосбережение и водоподготовка. – 2015. – 5. – С. 46-53.

12. Ушаков Г.В. Антинакипная обработка сетевой воды электрическим полем в тепловых сетях / Г.В. Ушаков // Теплоэнергетика. – 2008. – 7. – С. 32-35.

13. Воробьева Е.В. Очистка природной воды и промышленных стоков от примесей методом воздушной пневмосепарации / Е.В. Воробьева, И.М. Кувшинников // Энергоснабжение и водоподготовка. – 2011. – 2. – С. 15-20.

14. Ахмедов Ш.Н. Водоподготовка для теплогенерирующих установок и систем теплоснабжения / Ш.Н. Ахмедов, А.Г. Поздеев // Энергетическая безопасность: Сборник научных статей II Международного молодежного конгресса 2017; – Курск: Университетская книга, 2021. – С. 123-126.

### References

1. Selivanov O.G. Evaluation of the effectiveness of countercurrent schemes of sodium-cationite filters in water softening processes / O.G. Selivanov, E.S. Pikalov, L.N. Romanova // Engineering Bulletin of the Don. – 2022. – 7 (91). – Pp. 318-330.

2. Larin B.M. Improvement of water treatment at thermal power plants / B.M. Larin, E.N. Bushuev, A.B. Larin // Thermal power engineering. 2015. 4. pp. 58-64.

3. Karaush S.A. Heat generating installations of heat supply systems: A textbook for university students / S.A. Karaush, A.N. Khutornoy. Tomsk: Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering, 2003. 161 p.

4. Ivanov M. Sedimentation tanks in sewage treatment systems / M. Ivanov // Municipal complex of Russia. – 2016. – P. 7.

5. Pavlov Yu.N. Application of modern methods of water purification at thermal power plants and boiler houses / Yu.N. Pavlov, V.S. Smirnov // Collection of selected articles based on scientific conferences of the

State Research Institute "National Development"; – St. Petersburg: National Development, 2021. – pp. 52-57.

6. Mosin O.V. Baromembrane processes and water treatment devices / O.V. Mosin // Plumbing, heating, air conditioning. – 2013. – 3. – pp. 34-42.

7. Guzhulev I.P. Water treatment and water-chemical regimes in thermal power engineering / I.P. Guzhulev – Omsk: OmSTU, 2005. – 384 p.

8. Gorban, Ya.Y. Methods of removing calcium and magnesium salts from water / Ya.Y. Gorban, T.G. Cherkasova, A.V. Nevedrov // Bulletin of the Kuzbass State Technical University. – 2016. – 2. – pp. 126-135.

9. Savochkin A.Y. Water treatment for boiler houses / A.Y. Savochkin // Plumbing, heating, air conditioning. – 2011. 1. pp. 68-71.

10. Volkov V.N. Modern technologies of reverse osmosis and ion exchange in water treatment systems of heat supply: efficiency and environmental friendliness / V.N. Volkov, S.A. Gorbunov // Energy saving and water treatment. – 2010. – 4. – pp. 13-15.

11. Samoilov A.V. Chemical water treatment for boiler houses and heat supply points / A.V. Samoilov, A.Yu. Kozlov // Energy saving and water treatment. 2015. 5. pp. 46-53.

12. Ushakov G.V. Anti-scale treatment of mains water with an electric field in thermal networks / G.V. Ushakov // Thermal power engineering. – 2008. – 7. – pp. 32-35.

13. Vorobyeva E.V. Purification of natural water and industrial effluents from impurities by the method of air pneumatic separation / E.V. Vorobyeva, I.M. Kuvshinnikov // Energy supply and water treatment. – 2011. – 2. – pp. 15-20.

14. Akhmedov Sh.N. Water treatment for heat generating plants and heat supply systems / Sh.N. Akhmedov, A.G., Pozdееv // Energy security: Collection of scientific articles of the II International Youth Congress 2017; – Kursk: University Book, 2021. – pp. 123-126.

*Статья поступила в редакцию 17.11.2024*

### Информация об авторах

**Ремень Валентин Иванович** – к.т.н., доцент кафедры вентиляции, теплогазо- и водоснабжения. Институт строительства, архитектуры и жилищно-коммунального хозяйства Луганского государственного университета имени Владимира Даля.

SPIN-код: 6624-1243, AuthorID: 1182581

**Шевцова Татьяна Евгеньевна**, ст. преподаватель кафедры вентиляции, теплогазо- и водоснабжения. Институт строительства, архитектуры и жилищно-коммунального хозяйства Луганского государственного университета имени Владимира Даля.

SPIN-код: 4358-2795, AuthorID: 1187079

E-mail: kafedravgv@yandex.com.

### Information about the authors

**Remen Valentin Ivanovich**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Ventilation, Heat, Gas and Water Supply. Institute of Construction, Architecture and Housing and Communal Services of Lugansk State University named after Vladimir Dahl.

SPIN-код: 6624-1243, AuthorID: 1182581

**Shevtsova Tatiana Evgenievna**, Art. Lecturer at the Department of Ventilation, Heat, Gas and Water Supply. Institute of Construction, Architecture and Housing and Communal Services of Lugansk State University named after Volodymyr Dahl.

SPIN-код: 4358-2795, AuthorID: 1187079

E-mail: kafedravgv@yandex.com.

---

**Для цитирования:**

Ремень В.И., Шевцова Т.Е. Современное состояние систем водоподготовки для теплогенерирующих установок // Вестник Луганского государственного университета имени Владимира Даля. – 2024. – № 12(90). – С. 67-72.

**For citation:**

Remen V.I., Shevtsova T.E. The current state of water treatment systems for heat generating plants // Vestnik of Lugansk State University named after Vladimir Dahl. – 2024. – № 12(90). – P. 67-72.

---

УДК 625

## ОСНОВЫ СИСТЕМЫ РАЗРАБОТКИ И ВНЕДРЕНИЯ РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ОБСЛУЖИВАНИИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

Рябинина М. М., Бегей А. А.

## FUNDAMENTALS OF THE SYSTEM FOR THE DEVELOPMENT AND IMPLEMENTATION OF RESOURCE-SAVING TECHNOLOGIES IN THE MAINTENANCE OF HIGHWAYS

Ryabinina M. M., Begej A. A.

**Аннотация.** Представлены данные, освещающие важные системы направления разработки и внедрения системы ресурсосберегающих технологий при обслуживании автомобильных дорог общего пользования.

**Ключевые слова:** обслуживание автомобильных дорог, процесс и развитие, ресурсосбережение, внедрение.

**Abstract.** The data covering important systems of the direction of development and implementation of a system of resource-saving technologies in the maintenance of public roads are presented.

**Key words:** road maintenance, process and development, resource conservation, implementation.

**Введение.** Дорожное хозяйство является одной из самых ресурсоемких отраслей народного хозяйства. В этой связи особое значение приобретает выявление и использование всех резервов эффективности при выполнении эксплуатационных мероприятий на обслуживаемых автомобильных дорогах. При этом в первую очередь целесообразно задействовать такие резервы, реализация которых обеспечивает получение дополнительного эффекта, не требующего значительных затрат. Поэтому разработка и внедрение новых интенсивных ресурсосберегающих технологий при организации ремонта и содержания дорог является весьма актуальной проблемой [1, 2].

**Материалы и методы.** Интенсификация и ресурсосбережение при эксплуатации автомобильных дорог развивается в разных направлениях:

- разрабатываются новые интенсивные ресурсосберегающие технологии при выполнении ремонтно-строительных работ;
- создаются новые интенсивные ресурсосберегающие технологии получения ремонтно-строительных материалов;
- изыскиваются возможности применения и использования при обслуживании автомобильных дорог местных материалов, отходов промышленности, побочных продуктов;

- разрабатываются прогрессивные методы организации дорожного движения, способствующие экономии топлива, уменьшения загрязнения на окружающую среду, повышению экологического уровня автомобильных дорог, повышению безопасности движения;

- совершенствуются технологии содержания автомобильных дорог по сезонам года, что позволяет продлить срок службы дорожных сооружений, снизить агрессивное воздействие технологических мероприятий на окружающую среду, повысить безопасность движения;

- разрабатываются новые и совершенствуются существующие методы организации, планирования и экономического стимулирования, что позволяет ускорять внедрение интенсивных ресурсосберегающих технологий при эксплуатации автомобильных дорог и сооружений на них;

- совершенствуется существующее и разрабатывается новое технологическое оборудование; совершенствуется диагностика повреждений и разрабатываются мероприятия по их предупреждению;

- совершенствуются приборы и оборудование, а также создаются новые для оценки транспортно-эксплуатационных качеств автомобильных дорог;

- создаются новые конструкции дорожных сооружений, обеспечивающих более высокие эксплуатационные показатели;
- совершенствуются методы проектирования, позволяющие более полно учитывать эксплуатационные требования и снижающие ошибки при проектировании;
- создаются новые методы расчета и совершенствуются существующие, позволяющих более объективно учитывать условия службы эксплуатируемых сооружений;
- совершенствуются и развиваются нормативные базы по эксплуатации дорожных сооружений;

- совершенствуется прогнозирование и учет условий службы автомобильных дорог с учетом региональных условий.

Краткий перечень основных направлений развития и ресурсосбережения при обслуживании автомобильных дорог позволяет сделать вывод о широком круге проблем, которые необходимо при этом решать.

Структурную схему комплекса проблем по разработке интенсивных ресурсосберегающих технологий при эксплуатации автомобильных дорог с некоторыми условностями можно представить в следующем виде (рис. 1) [3, 4].

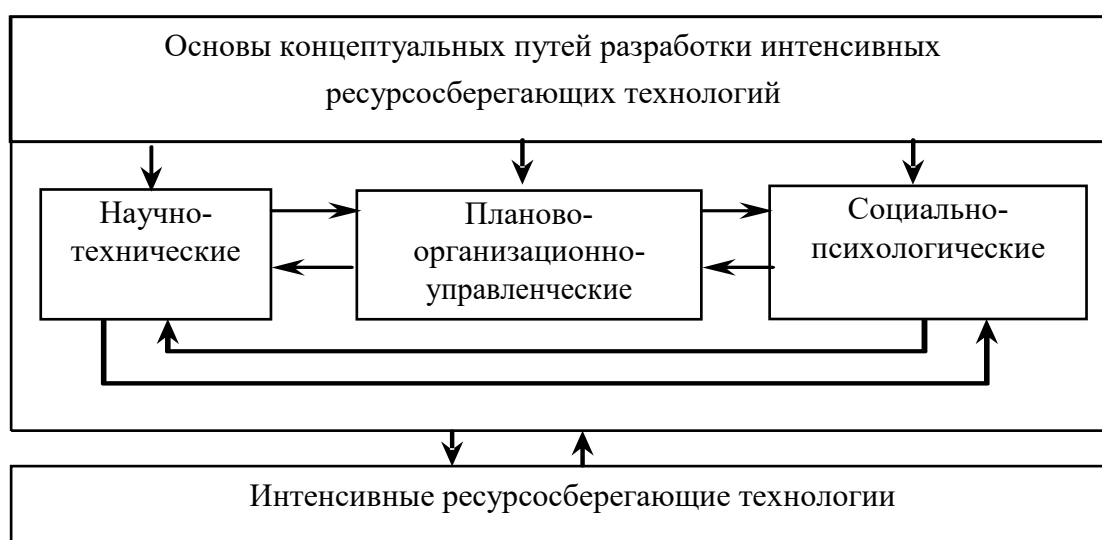


Рис. 1. Структурная схема путей по разработке интенсивных ресурсосберегающих технологий

Такая схема позволяет анализировать проблему разработки интенсивных ресурсосберегающих технологий при эксплуатации автомобильных дорог, в которой можно выделить отдельные подсистемы и изучать их взаимное влияние.

Решающим рычагом при разработке интенсивных ресурсосберегающих технологий являются научно-технические пути, т.е. ускорение научно-технического прогресса. Первым составляющим в научно-техническом прогрессе является научный прогресс, подготавливающий технические идеи в виде задела для воплощения их в технических разработках. Развитие научного прогресса проявляется в новых технических принципах, реализация которых – дело технического прогресса. Таким образом, технический прогресс – следующая, завершающая стадия научно-технического прогресса.

Ускорение научно-технического прогресса во всех направлениях интенсификации и ресурсосбережения при эксплуатации

автомобильных дорог предполагает в широких масштабах осуществление механизации и автоматизации технологических процессов, внедрение прогрессивной, принципиально новой технологии, ускорение темпов замены устаревшего оборудования и внедрение вычислительной техники и автоматизированных систем управления мероприятиями по эксплуатации автомобильных дорог.

Важнейшим условием положительного воздействия использования интенсивных ресурсосберегающих технологий на экономические показатели эксплуатационных мероприятий является высокая экономическая эффективность каждого внедряемого мероприятия, каждого вновь вводимого в действие вида оборудования, каждой машины или механизма, а также максимальный уровень использования техники.

Планово-организационно-управленческие пути в разработке интенсивных ресурсосберегающих технологий при обслуживании автомобильных дорог основаны на

создании таких организационных структур, при которых экономические методы являются основными для наиболее полного использования экономических законов. Сущность этого пути заключается в том, чтобы создать для отдельных работников и производственных коллективов такие экономические условия, которые обеспечивали бы правильное сочетание их интересов с интересами общества.

Значение социально-психологических путей в разработке ресурсосберегающих технологий определяется той ролью, которую играет сплоченность коллектива дорожно-эксплуатационных организаций и его заинтересованность в решении поставленных производственных задач.

Социально-психологические пути решения этой проблемы направлены на создание такой производственной атмосферы в коллективе, в которой наиболее полно могли бы реализоваться способности каждого работника.

Выходом системы является разработка новых интенсивных ресурсосберегающих технологий в обслуживании автомобильных дорог. Анализ комплекса проблем, связанных с разработкой и внедрением интенсивных ресурсосберегающих технологий при

обслуживании автомобильных дорог, показал, что отставание в развитии хотя бы одной подсистемы приводит к существенному снижению эффективности всей системы.

На практике экстенсивные и интенсивные факторы в чистом виде почти не существуют, они всегда переплетаются, так как технический прогресс постоянно развивается вширь и вглубь. Понятие и историческая подвижность этих критериев: то, что ранее было применением новых, более эффективных средств, ныне может стать простым расширением на прежнем техническом уровне. Другими словами, интенсивное стало экстенсивным. Строго говоря, процесс ресурсосбережения и интенсификации не имеет ни начала, ни конца, а меняет формы и масштабы своего проявления. Современная стадия ресурсосбережения и интенсификации характеризуется тем, что основной упор делается на экономию веса без изменения ресурсов, т.е. не только живого, но и в особенности овеществленного труда [5].

На рис. 2 представлено в общем виде изменение относительной эффективности на единицу дополнительных затрат внедренного новшества за период жизни ( $T_{ж}$ ). В этом периоде можно выделить четыре этапа:

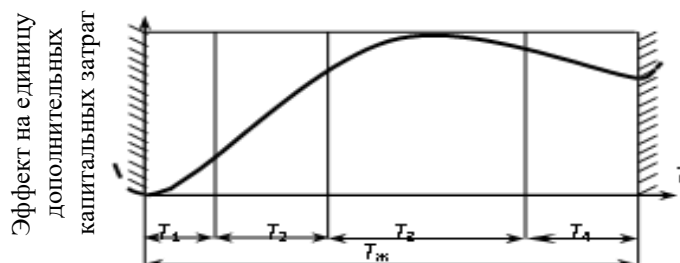


Рис. 2. Изменение относительной эффективности внедренного новшества за период его жизни  $T_{ж}$

- первый ( $T_1$ ) – начало внедрения новшества, этап его проверки в небольших сериях, в небольших масштабах;
- второй ( $T_2$ ) – этап массового освоения новшества;
- третий ( $T_3$ ) – этап устойчивого, длительного использования новшества;
- четвертый ( $T_4$ ) – этап вынужденного использования «новшества».

**Результаты и обсуждения.** Первый этап занимает достаточно много времени. С экономической точки зрения, очевидно, желательно, чтобы его доля в общем периоде  $T_{ж}$  была как можно меньше. Второй этап занимает в общем немного времени, обычно около 20 % от  $T_{ж}$  и составляет на сегодняшний день 1,5–3,5 года.

На этом этапе относительная эффективность резко растет за счет массового внедрения новшества, расширения его масштабов. Наиболее

длительный – третий этап ( $T_3$ ), здесь относительная эффективность растет, как правило, медленно, в основном за счет повышения профессионального опыта производственных рабочих, нахождения различных путей снижения издержек производства, потерь. Повышение эффективности на этом этапе часто связано с рациональным размещением производства, упрощением технологии использования новшества и пр.

Наконец, наступает четвертый этап жизненного цикла, когда эффективность использования новшества (или того, что было когда-то новшеством) начинает постоянно и неуклонно снижаться. Причин перехода от третьего этапа к четвертому много, но какими бы они конкретно не были, это следствие научно-технического прогресса, изменившего внешнюю среду и создавшего неблагоприятные условия для

использования бывшего новшества, равно как на втором этапе научно-технический прогресс создал «режим наибольшего благоприятствования» для его внедрения.

Следуя одно за другим, новшества, таким образом, создают непрерывную цепь, которая позволяет поддерживать относительную эффективность производства на необходимом уровне до тех пор, пока научно-технический прогресс радикально не изменяет производство. С течением времени период жизни новшества становится все более коротким. Когда-то он составлял десятки лет, сейчас 5-10 лет и даже 3-5 лет. Таким образом, для постоянного повышения прибыли и эффективности эксплуатационных мероприятий надо значительно сократить третий этап, а четвертый этап постараться исключить.

**Выводы.** Данные исследования позволяют глубже понять объективные процессы эволюционирования концепции разработки и внедрения интенсивных ресурсосберегающих технологий при эксплуатации автомобильных дорог. Чтобы обеспечить разработку и внедрение новшеств, необходимо создавать экономические, социальные и моральные условия. Системное рассмотрение комплекса работ при обслуживании автомобильных дорог позволяет определить концепцию разработки и внедрения интенсивных ресурсосберегающих технологий на основе обобщенного экономического критерия.

#### Список источников

1. Стороженко М.С. Основы интенсификации ресурсосберегающих технологий ремонта дорожных одежд // Особенности проектирования строительства и эксплуатации автомобильных дорог в Восточно-Сибирском регионе, 2005. – С. 278–280.
2. Гнатов А. В. Энергосберегающие технологии на транспорте / А.В. Гнатов, Щ.В. Аргун, О.А. Ульянец // n the US willgeta «smart» roadsurface. 2016.
3. Эксплуатация автомобильных дорог: в 2 т. – Т. 2: учебник для студ. Высш. Учеб. заведений / А. П. Васильев. – М.: Издательский центр «Академия», 2010. – 320 с.
4. Строительство и реконструкция автомобильных дорог: Справочная энциклопедия дорожника (СЭД). Т. I / А. П. Васильев, Б. С. Марышев, В. В. Силкин и др.; Под ред. д-ра техн. Наук, проф. А. В. Васильева. – М.: Информ автодор, 2005. – 654 с.
5. Балашова Р.И. Теория и практика ресурсосбережения / Р.И. Балашова // Охрана труда. 2011. № 5. С. 5-10. 3. Безносков, Г.А. Современные представления об экономическом механизме ресурсосбережения / Г.А. Безносков // Гуманитарные науки. 2013. № 2. С. 23-33.

6. Бессонов А.К. Инновационный потенциал строительных предприятий: формирование и использование в процессе инновационного развития / А.К. Бессонов, Н.Г. Верстина, Ю.Н. Кулаков. Москва: Ассоциации строительных вузов, 2009. 168 с.

7. Бовин А.А. Управление инновациями в организации / А.А. Бовин, Л.Е. Чередникова, В.А. Якимович. Москва: Омега-Л, 2008. 267 с.

8. Божedomова Г.К. Хозяйственный механизм ресурсосбережения: / Г.К. Божedomова. Москва: МПИ, 2010. 109 с.

9. ОДМ 218.03.004-2010 Методические рекомендации по термопрофилированию асфальтобетонных покрытий. Федеральное дорожное агентство (РОСАВТОДОР). – М.: 2011. – 35 с.

#### References

1. Storozhenko M.S. Fundamentals of intensification of resource-saving technologies for repairing road surfaces // Features of designing construction and operation of highways in the East Siberian region, 2005. – pp. 278-280.
2. Gnatov A.V. Energy-saving technologies in transport / A.B. Gnatov, S.V. Argun, O.A. Ulyanets // n the US willgeta "smart" roadsurface. 2016.
3. Operation of highways: in 2 vols. – Vol. 2: textbook for students. Higher. Educational institutions / A. P. Vasiliev. – М.: Publishing center "Academy", 2010. – 320 p.
4. Construction and reconstruction of highways: A reference encyclopedia of a roadworker (SED). Vol. I / A. P. Vasiliev, B. S. Maryshev, V. V. Silkin, etc.; Edited by Dr. Tech. Sciences, prof. A.V. Vasilyeva. – М.: Inform avtodor, 2005. – 654 p.
5. Balashova, R.I. Theory and practice of resource conservation / R.I. Balashova // Labor protection. 2011. No. 5. pp. 5-10. 3. Beznosov, G.A. Modern ideas about the economic mechanism of resource conservation / G.A. Beznosov // Humanities. 2013. No. 2. pp. 23-33.
6. Bessonov, A.K. Innovative potential of construction enterprises: formation and use in the process of innovative development / A.K. Bessonov, N.G. Verstina, Yu.N. Kulakov. Moscow: Associations of Construction Universities, 2009. 168 p.
7. Bovin, A.A. Innovation management in the organization / A.A. Bovin, L.E. Cherednikova, V.A. Yakimovich. Moscow: Omega-L, 2008. 267 p.
8. Bozhedomova G. K. economic mechanism of resource saving: / G. K. Bozhedomova. Moscow: MPI publ., 2010, 109 P. (in Russian)
9. ODM 218.03.004-2010 Methodological recommendations for thermal profiling of asphalt concrete pavements. Federal Road Agency (ROSAVTODOR). – М.: 2011. – 35 p.

*Статья поступила в редакцию 18.11.2024*

---

**Информация об авторах**

**Рябинина Маргарита Михайловна**, старший преподаватель кафедры проектирования и технологии строительства Луганского государственного университета имени Владимира Даля, г. Луганск.  
**E-mail:** m.ryabinina2014@yandex.ru

**Бегей Алла Анатольевна**, старший преподаватель кафедры проектирования и технологии строительства Луганского государственного университета имени Владимира Даля, г. Луганск.  
**E-mail:** alla.begei@yandex.ru

**Information about the authors**

**Ryabinina Margarita Mihajlovna**, senior teacher Department of Design and Construction Technology of Lugansk State University named after Vladimir Dahl.  
**E-mail:** m.ryabinina2014@yandex.ru

**Begej Alla Anatolievna**, senior teacher Department of Design and Construction Technology of Lugansk State University named after Vladimir Dahl.  
**E-mail:** alla.begei@yandex.ru

---

**Для цитирования:**

Рябинина М. М., Бегей А. А. Основы системы разработки и внедрения ресурсосберегающих технологий при обслуживании автомобильных дорог // Вестник Луганского государственного университета имени Владимира Даля. – 2024. – № 12(90). – С. 73-77.

**For citation:**

Ryabinina M. M., Begej A. A. Fundamentals of the system for the development and implementation of resource-saving technologies in the maintenance of highways // Vestnik of Lugansk State University named after Vladimir Dahl. – 2024. – № 12(90). – P. 73-77.

---

УДК 697

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ КОМБИНИРОВАННОЙ ОТОПИТЕЛЬНО-ВЕНТИЛЯЦИОННОЙ СИСТЕМЫ КАК ОБЪЕКТА АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

Соколов В. И., Черникова И. Д., Салуквадзе Г. В.

## MATHEMATICAL MODEL OF COMBINED HEATING-VENTILATING SYSTEM AS OBJECT OF AUTOMATIC CONTROL

Sokolov V. I., Chernikova I. D., Salukvadze G. V.

**Аннотация.** Разработана математическая модель аэротермодинамических процессов комбинированной отопительно-вентиляционной системы как объекта автоматического управления. В отопительно-вентиляционной системе приточный воздух поступает от центральной вентиляционной установки при его постоянной температуре. Регулирование расхода приточного воздуха осуществляется специальным терминалом, а дополнительное изменение его температуры производится в теплообменном аппарате. Рабочие процессы, протекающие в системе, отражены функциональной схемой. Построена структурная схема системы автоматического управления воздушным отоплением. В системе в общем случае предусмотрены различные регуляторы расхода и температуры приточного воздуха. Выполнен расчет переходного процесса в системе при изменении заданной температуры в обслуживаемом помещении. При моделировании системы в контуре регулирования расхода приточного воздуха использован МРС-регулятор, в контуре регулирования его температуры – ПИД-регулятор. Комбинацией регуляторов расхода приточного воздуха и его температуры при оптимальной настройке их параметров можно улучшить показатели качества регулирования системы автоматического управления воздушным отоплением и, как следствие, обеспечить повышение эффективности отопительно-вентиляционной системы.

**Ключевые слова:** отопительно-вентиляционная система, структурная схема, регулятор, переходной процесс.

**Abstract.** The mathematical model of aerothermodynamic processes for combined heating-ventilating system as object of automatic control has been developed. In the heating-ventilating system, the supply air comes from the central ventilation unit at its constant temperature. Regulation of the supply air flow is carried out by the special terminal, and additional change of its temperature is made in the heat exchanger. The work processes taking place in the system are reflected on the functional scheme. The structural scheme for automatic control system of air heating has been constructed. In general, the system provides various regulators for the flow rate and temperature of the supply air. The calculation of the transient process in the system is performed when the set temperature changes in the serviced room. When modeling the system, MPC regulator was used in the supply air flow control circuit, and PID controller was used in the temperature control circuit. By combination of controllers for supply air flow and its temperature, with optimal adjustment of their parameters, it is possible to improve the regulation quality indicators of the automatic air heating control system and, as a result, to ensure an increase in the efficiency of the heating-ventilating system.

**Key words:** heating-ventilating system, structural scheme, controller, transient process.

**Введение.** Составной частью зданий и сооружений являются системы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха (ОВКВ), в зарубежной литературе HVAC [1-3]. Важным резервом повышения эффективности систем ОВКВ является сокращение потребляемой мощности за счет снижения потерь энергии,

связанных с процессами регулирования аэротермодинамических характеристик систем ОВКВ и, прежде всего, отопительно-вентиляционных систем (ОВС) [4-6].

**Материалы и методы.** В системах автоматического управления (САУ) воздушным отоплением обычно переменной является

тепловая нагрузка, а влажностная и газовая относительно постоянные либо требуют некоторого малого расхода наружного воздуха [7-9]. Поэтому для таких ОВС возможны три вида регулирования температурного режима: системы с постоянным расходом и переменной температурой приточного воздуха, системы с переменным расходом приточного воздуха определенной температуры и смешанные (комбинированные, или двухконтурные) системы [10-12]. Первые два вида САУ воздушным отоплением являются наиболее распространенными и достаточно хорошо изученными. В качестве примера таких систем необходимо отметить ОВС с переменным расходом воздуха [11, 13], в которых изменение тепловой нагрузки помещения компенсируется изменением количества приточного воздуха, поступающего от центральной приточной вентиляционной установки при его постоянной температуре.

В этой связи несомненный интерес вызывает исследование процессов и анализ качества регулирования аэротермодинамических характеристик комбинированных ОВС для повышения их эффективности.

Целью работы является разработка математической модели комбинированной ОВС как объекта автоматического управления, построение на ее основе САУ воздушным отоплением.

Достижение поставленной цели проведено на основе комплексного подхода к исследованиям аэротермодинамических процессов в системах ОВКВ. В работе использованы методы математического и компьютерного моделирования, а также методы теории

автоматического управления. В основе математических моделей лежат классические уравнения аэрогидромеханики и термодинамики [14-16], в ряде случаев применены приближенные зависимости и линеаризованные уравнения [17, 18], что вполне допустимо при моделировании таких сложных объектов, которыми являются системы отопления и вентиляции. Моделирование САУ воздушным отоплением проведено в среде Simulink пакета прикладных программ MATLAB.

**Результаты и обсуждения.** Рассмотрим комбинированную ОВС, построенную на основе приточной вентиляционной системы VAV (от английского названия «Variable Air Volume» – переменный объем воздуха) [11, 13], которая имеет возможность дополнительного нагрева или охлаждения воздуха. Схема комбинированной ОВС переменного расхода воздуха с регулированием его температуры приведена на рис. 1.

В рассматриваемой ОВС приточный воздух поступает от центральной вентиляционной установки при его постоянной температуре. Регулирование расхода приточного воздуха осуществляется терминалом VAV (регулятор, или клапан VAV), который на рис. 1 обозначен как PP (регулятор расхода). Изменение температуры воздуха, как показано на рис. 1, происходит в теплообменном аппарате при помощи регулятора температуры РТ. Таким образом, в обслуживаемом помещении поддержание заданного температурного режима в значимой (рабочей) зоне, который контролируется датчиком температуры ДТ, обеспечивается как регулированием расхода приточного воздуха, так и его температуры.

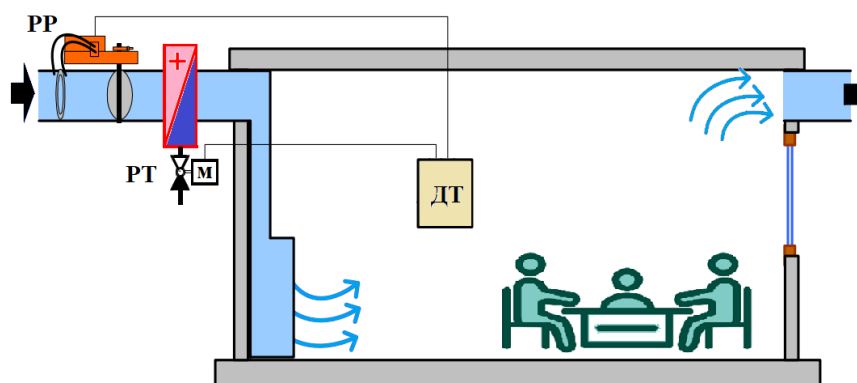


Рис. 1. Комбинированная ОВС

Рабочие процессы в комбинированной ОВС можно отразить функциональной схемой, приведенной на рис. 2. Согласно функциональной схеме ОВС рассматривается как двухконтурная

САУ воздушным отоплением, в которой входным сигналом является заданная температура (закон изменения ее во времени  $t$ ) в обслуживаемом помещении  $T_s(t)$ . По расхождению  $\varepsilon(t)$  заданной

температуры  $T_s(t)$  и температуры в значимой (рабочей) зоне  $T(t)$

$$\varepsilon(t) = T_s(t) - T(t) \quad (1)$$

регулятор расхода РР формирует значение массового расхода воздуха  $G(t)$  постоянной температуры, поступающего от центральной приточной вентиляционной системы. Далее

приточный воздух поступает в теплообменный аппарат, в котором по расхождению температур  $\varepsilon(t)$  регулятор температуры РТ изменяет температуру приточного воздуха  $T_h(t)$ , который непосредственно поступает в обслуживаемое помещение. В дальнейшем температуру в наиболее значимой (рабочей) точке  $T(t)$  будем называть температурой в помещении.

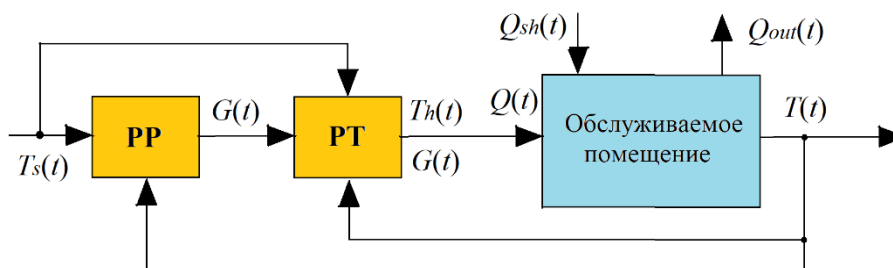


Рис. 2. Функциональная схема комбинированной ОВС

Расход приточного воздуха равен расходу удаляемого воздуха, поэтому теплоступление от вентиляционной системы  $Q_{ah}$  в обслуживаемое помещение (см. рис. 2) будет определяться разницей температуры приточного воздуха  $T_h(t)$  и температуры в помещении  $T(t)$

$$Q_{ah}(t) = cG(t)(T_h(t) - T(t)), \quad (2)$$

где  $c$  – теплоемкость воздуха.

Кроме того, теплоступления в обслуживаемое помещение могут быть от других источников (дополнительные теплоизбытки)  $Q_{sh}(t)$ , не связанных с приточной вентиляционной системой (см. рис. 2), а быть от людей, оборудования, освещения, солнечной радиации и др. Тогда общие теплоступления  $Q_{in}(t)$  в обслуживаемое помещение можно определить зависимостью

$$Q_{in}(t) = Q_{ah}(t) + Q_{sh}(t). \quad (3)$$

Теплопотери на функциональной схеме (рис. 2) обозначены как  $Q_{out}(t)$ . Суммарные теплоизбытки  $\Delta Q(t)$  (теплодифицит при отрицательном знаке) составят

$$\Delta Q(t) = Q_{in}(t) - Q_{out}(t). \quad (4)$$

Вполне уместно считать, что ОВС может находиться в условно стационарном режиме, т.е. в состоянии для относительно длительного промежутка времени, когда ее параметры являются постоянными. Данному состоянию соответствуют значения массового расхода

приточного воздуха  $G_0$ , его температуры  $T_h^0$ , температуры в помещении  $T_0$  и наружного воздуха  $T_{out}^0$ . Для стационарного режима теплоступления  $Q_{in}^0$  равны теплопотерям  $Q_{out}^0$ , данные значения обозначим через  $Q_0$

$$Q_{in}^0 = Q_{out}^0 = Q_0. \quad (5)$$

Следует принимать во внимание, что теплоступления для стационарного режима складываются из стационарных значений теплоступлений от приточной вентиляционной системы  $Q_{ah}^0$  и дополнительных теплоизбытков  $Q_{sh}^0$

$$Q_{in}^0 = Q_{ah}^0 + Q_{sh}^0. \quad (6)$$

Схема работы (рис. 1) и функциональная схема ОВС (рис. 2) позволяют построить структурную схему двухконтурной САУ воздушным отоплением.

Изменение во времени теплоизбытков  $\Delta Q(t)$  в обслуживаемом помещении с учетом (5) определим как разницу между изменением теплоступлений  $\Delta Q_{in}(t)$  и теплопотерь  $\Delta Q_{out}(t)$

$$\Delta Q(t) = \Delta Q_{in}(t) - \Delta Q_{out}(t). \quad (7)$$

Теплоизбытки  $\Delta Q(t)$  приводят к изменению температуры в помещении  $\Delta T(t)$

$$\Delta T(t) \sim \Delta Q(t). \quad (8)$$

Рассматривая обслуживаемое помещение как объект управления, свяжем безразмерные отклонения переменных, преобразованные по Лапласу, через передаточные функции (рис. 3)

$$T(s) = W_{TQ}(s)(Q_{in}(s) - Q_{out}(s)) \quad (9)$$

или с учетом (3)

$$T(s) = W_{TQ}(s)(k_{ah}Q_{ah}(s) + k_{sh}Q_{sh}(s) - Q_{out}(s)), \quad (10)$$

где  $s$  – переменная Лапласа;  $T(s)$  – преобразование по Лапласу безразмерного отклонения температуры в помещении от стационарного значения  $T_0$  (отклонение делится на разницу стационарных значений температур в помещении  $T_0$  и наружного воздуха  $T_{out}^0$ )

$$\Delta \bar{T}(t) = \Delta T(t) / (T_0 - T_{out}^0); \quad (11)$$

$Q_{in}(s)$ ,  $Q_G(s)$ ,  $Q_{sh}(s)$  – преобразование по Лапласу безразмерных отклонений суммарных

теплопоступлений, теплопоступлений от приточной вентиляционной системы и дополнительных теплоизбытков от своих стационарных значений:

$$\Delta \bar{Q}_{in}(t) = \Delta Q_{in}(t) / Q_0; \quad (12)$$

$$\Delta \bar{Q}_G(t) = \Delta Q_{ah}(t) / Q_{ah}^0; \quad (13)$$

$$\Delta \bar{Q}_{sh}(t) = \Delta Q_{sh}(t) / Q_{sh}^0. \quad (14)$$

$Q_{out}(s)$  – преобразование по Лапласу безразмерного отклонения теплопотерь от стационарного значения  $Q_0$

$$k_{ah} = \frac{Q_{ah}^0}{Q_0}; \quad k_{sh} = \frac{Q_{sh}^0}{Q_0}. \quad (15)$$

В силу (5) и (6) имеем

$$k_{ah} + k_{sh} = 1. \quad (16)$$

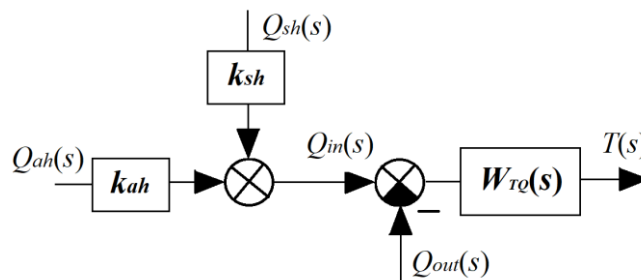


Рис. 3. К построению структурной схемы ОВС

Коэффициенты  $k_{ah}$  и  $k_{sh}$  имеют физический смысл, они показывают долю соответственно теплопоступлений от приточной вентиляционной системы и дополнительных теплоизбытков в теплоснабжении обслуживаемого помещения для стационарного режима работы.

По уравнению (10) сформируем фрагмент структурной схемы ОВС, представленный на рис. 3.

Выполним линеаризацию зависимости (2) для теплопоступлений от вентиляционной системы. Разложение в ряд Тейлора для отклонений переменных имеет вид

$$\begin{aligned} \Delta Q_{ah}(t) &= \left. \frac{\partial Q_{ah}}{\partial G} \right|_0 \Delta G(t) + \left. \frac{\partial Q_{ah}}{\partial (T_h - T)} \right|_0 (\Delta T_h(t) - \Delta T(t)) = \\ &= c(T_h^0 - T_0) \Delta G(t) + cG_0 (\Delta T_h(t) - \Delta T(t)). \end{aligned} \quad (17)$$

Индекс «0» при производных в выражении (17) означает вычисление их для значений параметров в стационарном режиме работы ОВС. Записав уравнение (17) для безразмерных отклонений переменных (11), (13) и

$$\Delta \bar{G}(t) = \Delta G(t) / G_0; \quad (18)$$

$$\Delta \bar{T}_h(t) = \Delta T_h(t) / (T_h^0 - T_0), \quad (19)$$

и выполнив для них преобразование по Лапласу, получаем

$$Q_{ah}(s) = \frac{cG_0(T_h^0 - T_0)}{Q_{ah}^0} G(s) + \frac{cG_0(T_h^0 - T_0)}{Q_{ah}^0} T_h(s) - \frac{cG_0 T_0}{Q_{ah}^0} T(s). \quad (20)$$

Нетрудно заметить, что

$$cG_0(T_h^0 - T_0) = Q_{ah}^0, \quad (21)$$

переменных, преобразованных по Лапласу, представим в следующем виде

$$Q_{out}(s) = W_{QT}(s)(T(s) - T_{out}(s)), \quad (24)$$

поэтому выражение (20) можно привести к виду

$$Q_G(s) = G(s) + T_h(s) - k_T T(s), \quad (22)$$

где

$$k_T = \frac{T_0 - T_{out}^0}{T_h^0 - T_0}. \quad (23)$$

где  $T_{out}(s)$  – преобразование по Лапласу безразмерного отклонения температуры наружного воздуха от стационарного значения  $T_{out}^0$

$$\Delta \bar{T}_{out}(t) = \Delta T_{out}(t) / (T_0 - T_{out}^0). \quad (25)$$

Изменение теплотерь во времени  $Q_{out}(t)$  носит сложный характер [5, 15, 16], с некоторым приближением можно считать, что теплотери зависят от разности температуры в помещении  $T(t)$  и наружной температуры  $T_{out}(t)$ . Эту зависимость для безразмерных отклонений

$W_{QT}(s)$  – передаточная функция для теплотерь по разнице температур в помещении и снаружи.

Подстановка (22) и (24) в (10) дает следующее выражение

$$T(s) = W_{TQ}(s) [k_{ah}(G(s) + T_h(s) - k_T T(s)) + k_{sh} Q_{sh}(s) - W_{QT}(s)(T(s) - T_{out}(s))]. \quad (26)$$

После преобразований имеем

$$T(s) [1 + k_{ah} k_T W_{TQ}(s) + W_{TQ}(s) W_{QT}(s)] = W_{TQ}(s) [k_{ah}(G(s) + T_h(s)) + k_{sh} Q_{sh}(s) + W_{QT}(s) T_{out}(s)]. \quad (27)$$

Далее приводим (27) к виду

$$T(s) = W_0(s) [k_{ah}(G(s) + T_h(s)) + k_{sh} Q_{sh}(s)] + W_{out} T_{out}(s), \quad (28)$$

где  $W_0(s)$  – передаточная функция для температуры в помещении по общим тепlopоступлениям (тепlopоступлениям от приточной системы и тепlopизбыткам)

$$W_0(s) = \frac{W_{TQ}(s)}{1 + k_{ah} k_T W_{TQ}(s) + W_{TQ}(s) W_{QT}(s)}; \quad (29)$$

$W_{out}(s)$  – передаточная функция для температуры в помещении по температуре наружного воздуха

$$W_{out}(s) = \frac{W_{QT}(s)}{1 + k_{ah} k_T W_{TQ}(s) + W_{TQ}(s) W_{QT}(s)}. \quad (30)$$

Отметим, что передаточные функции  $W_0(s)$  и  $W_{out}(s)$  устанавливаются либо приближенно с использованием аналитических подходов, либо с использованием методов параметрической идентификации.

На основе рис. 3 и уравнения (28) получаем структурную схему комбинированной ОВС как объекта автоматического управления, приведенную на рис. 4.

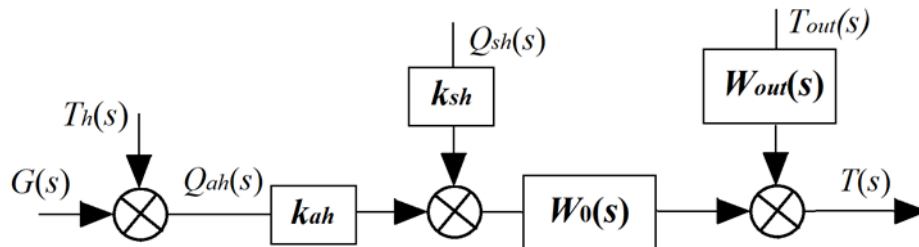


Рис. 4. Структурная схема комбинированной ОВС

Безразмерное отклонение заданной температуры в помещении от стационарного значения  $T_0$  введем аналогично безразмерным отклонениям температуры в помещении (11) и температуры наружного воздуха (25)

$$\Delta \bar{T}_s(t) = \Delta T_s(t) / (T_0 - T_{out}^0). \quad (31)$$

Согласно (1) рассогласование безразмерных отклонений заданной температуры и температуры в помещении, преобразованных по Лапласу,

$$\varepsilon(s) = T_s(s) - T(s). \quad (32)$$

В двухконтурной САУ воздушным отоплением в общем случае рассматриваем различные регуляторы для регулирования расхода и температуры приточного воздуха

$$G(s) = W_{cG}(s) \varepsilon(s); \quad (33)$$

$$T(s) = W_{cT}(s) \varepsilon(s), \quad (34)$$

где  $W_{cG}(s)$ ,  $W_{cT}(s)$  – передаточные функции регулятора расхода и регулятора температуры.

На основании (32-34) и рис. 4 получаем структурную схему двухконтурной САУ воздушным отоплением, представленную на рис. 5.

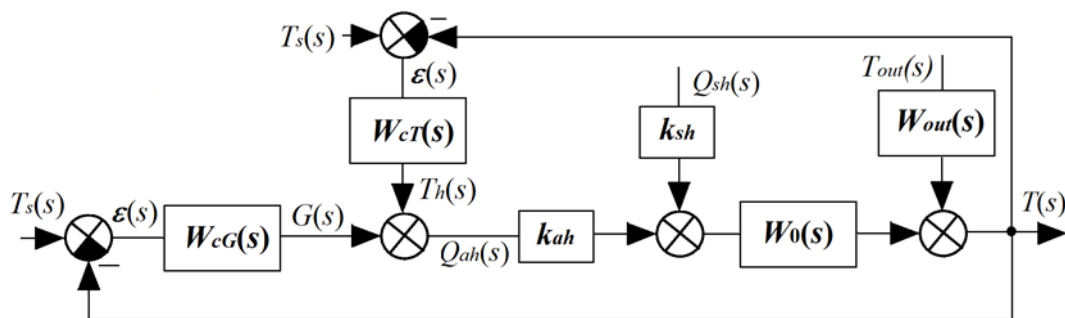


Рис. 5. Структурная схема САУ

Для моделирования двухконтурной САУ воздушным отоплением в среде Simulink пакета прикладных программ MATLAB разработана блок-диаграмма, в контуре регулирования расхода приточного воздуха использован MPC-регулятор (от английского Model Predictive Control) [19, 20], в контуре регулирования его температуры – ПИД-регулятор.

Результаты расчета переходного процесса в двухконтурной САУ воздушным отоплением при изменении заданной температуры  $T_s(s)$  в обслуживаемом помещении представлены на рис.

6. Здесь же представлена переходная характеристика объекта управления.

При моделировании рассматривалась передаточная функция  $W_0(s)$ , полученная для учебного помещения объемом  $134,4 \text{ м}^3$  путем идентификации апериодическим звеном второго порядка с запаздыванием

$$W_0(s) = \frac{e^{-49,7s}}{(25,8s + 1)(457s + 1)}. \quad (35)$$

Также были заданы: коэффициент  $k_{ah} = 0,8$ ; ПИД-регулятор в контуре регулирования температуры приточного воздуха без дифференцирующей составляющей  $W_{CG}(s) = 1 + 1/(200s)$ , а минимальное и максимальное значение на его выходе ограничивалось нелинейным звеном типа «зона насыщения» соответственно значениями -1 и +1. При синтезе МРС-регулятора принимался период квантования 10 с, горизонт прогнозирования 100 шагов, горизонт управления 30 шагов, минимальное значение на выходе было задано -1, а максимальное 2. Синтез выполнен при помощи набора программных инструментов Model Predictive Control Toolbox пакета прикладных программ MATLAB.

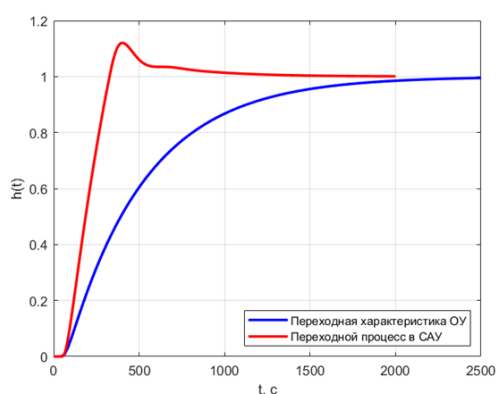


Рис. 6. Переходной процесс в САУ

Структурная схема (рис. 5) предусматривает возможность моделирования САУ при различных воздействиях и их комбинации. Прежде всего, предусмотрено исследование системы при воздействии входного сигнала заданной температуры в обслуживаемом помещении  $T_s(s)$ . Имеется возможность моделирования поведения системы при изменении температуры наружного воздуха  $T_{out}(s)$  как при скачкообразном, так и при колебательном характере ее изменения. Также предусмотрен анализ воздействия изменения дополнительных теплоизбытков в помещении  $Q_{sh}(s)$ . Передаточная функция  $W_0(s)$  для обслуживаемого помещения, также как и передаточная функция  $W_{out}(s)$  для температуры в помещении по температуре наружного воздуха, заданы в виде последовательно установленных звена с дробно-рациональной функцией и звена запаздывания. Данные передаточные функции удобно получать методами параметрической идентификации.

Как видно из рис. 6, САУ позволяет увеличить быстродействие ОВС, а следовательно, повысить стабильность контролируемых параметров. Рациональным сочетанием

регуляторов расхода приточного воздуха и его температуры при оптимальной настройке их параметров можно улучшить показатели качества регулирования САУ воздушным отоплением и, как следствие, обеспечить повышение эффективности ОВС.

**Выводы.** Таким образом, в работе рассмотрена комбинированная ОВС, в которой приточный воздух поступает от центральной вентиляционной установки при его постоянной температуре. Регулирование расхода приточного воздуха осуществляется специальным терминалом, а дополнительное изменение его температуры производится в теплообменном аппарате. Рабочие процессы, протекающие в системе, отражены функциональной схемой.

Разработана математическая модель аэротермодинамических процессов комбинированной ОВС как объекта автоматического управления. Построена структурная схема САУ воздушным отоплением. В системе в общем случае предусмотрены различные регуляторы расхода и температуры приточного воздуха.

Выполнен расчет переходного процесса в системе при изменении заданной температуры в обслуживаемом помещении. При моделировании системы в контуре регулирования расхода приточного воздуха использован МРС-регулятор, в контуре регулирования его температуры – ПИД-регулятор. Комбинацией регуляторов расхода приточного воздуха и его температуры при оптимальной настройке их параметров можно улучшить показатели качества регулирования системы автоматического управления воздушным отоплением и, как следствие, обеспечить повышение эффективности отопительно-вентиляционной системы.

#### Список источников

1. Посохин, В.Н. Вентиляция / В.Н. Посохин, Р.Г. Сафиуллин, В.А. Бройда. – Москва: АСВ, 2020. – 624 с.
2. Системы вентиляции и кондиционирования. Теория и практика / В.А. Ананьев, Л.Н. Балусева, А.Д. Гальперин [и др.]. – Москва: Евроклимат, 2003. – 416 с.
3. Соколов В.И. Аэродинамика газовых потоков в каналах сложных вентиляционных систем. – Луганск: ВГУ, 1999. – 200 с.
4. Каменев, П.Н. Вентиляция. Учебное пособие / П.Н. Каменев, Е.И. Тертичник. – Москва: АСВ, 2008. – 624 с.
5. Инженерные задачи диффузии примеси в потоке / В.И. Соколов, А.А. Коваленко, Г.С. Калюжный [и др.]. – Луганск: ВУГУ, 2000. – 168 с.
6. Sokolov, V. Increasing Efficiency of Ventilation Systems with Vortex Regulation Devices / V. Sokolov //

Proceedings of the 8th International Conference on Industrial Engineering. ICIE 2022. Lecture Notes in Mechanical Engineering. – Cham: Springer, 2023. – P. 1012–1022.

7. Стефанов, Е.В. Вентиляция и кондиционирование воздуха / Е.В. Стефанов. – Санкт-Петербург: АВОК СЕВЕРО-ЗАПАД, 2005. – 400 с.

8. Марьясин, О.Ю. Управление тепловым режимом зданий с использованием прогнозирующих моделей / О.Ю. Марьясин, А.С. Колодкина // Вест. Самар. гос. ун-та. Сер. технические науки. – 2017. – № 1(53). – С. 122–132.

9. Соколов, В.І. Гідравліка / В.І. Соколов, О.С. Кроль, О.В. Єпіфанова. – Сєверодонецьк: СНУ ім. В. Даля, 2017. – 160 с.

10. Системы вентиляции: моделирование, оптимизация / Я.А. Гусенцова, К.Н. Андрийчук, А.А. Коваленко [и др.]. – Луганск: ВГУ им. В. Даля, 2005. – 206 с.

11. Improvement of HVAC systems based on adaptive predictive control / V. Sokolov, O. Krol, V. Andriichuk [et al.] // E3S Web of Conferences. – 2023. – Vol. 420. – 07020.

12. Krol, O. Modeling of Spindle Node Dynamics Using the Spectral Analysis Method / O. Krol, V. Sokolov // Advances in Design Simulation and Manufacturing III. DSMIE 2020. Lecture Notes in Mechanical Engineering. – Cham: Springer, 2020. – Vol. 1. – P. 35–44.

13. Судак, В. Системы VAV. Краткое описание / В. Судак, Я. Хендигер. – Краков: SMAY, 2009. – 80 с.

14. 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.

15. Sokolov, V. Diffusion of circular source in the channels of ventilation systems / V. Sokolov // Advances in engineering research and application. ICERA 2018. Lecture notes in networks and systems. – Cham: Springer, 2019. – Vol. 63. – P. 278–283.

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. Criteria Analysis of Diffusion Processes in Channels of Industrial Ventilation Systems / V. Sokolov // Proceedings of the 7th International Conference on Industrial Engineering. ICIE 2021. Lecture Notes in Mechanical Engineering. – Cham: Springer, 2022. – Vol. 2. – C. 725–731.

18. Sokolov, V. Increased measurement accuracy of average velocity for turbulent flows in channels of ventilation systems / V. Sokolov // Proceedings of the 6th international conference on industrial engineering (ICIE 2020). Lecture notes in mechanical engineering. – Cham: Springer, 2021. – Vol. 2. – P. 1182–1190.

19. Надеждин, И.С. Системы управления нестационарным объектом на основе МРС-регулятора и ПИД-регулятора с нечеткой логикой / И.С. Надеждин, А.Г. Горюнов, Ф. Маненти // Управление большими системами. Анализ и синтез систем управления. – 2018. – Вып. 75. – С. 50–75.

20. Колодин, А.А., Ёлшин В.В. Разработка и исследование регулятора на основе прогнозирующей модели / А.А. Колодин, В.В. Ёлшин // Вест. Самар. гос. ун-та. Сер. технические науки. – 2021. – Т. 29, №1. – С. 36–44.

## References

1. Posokhin, V.N. Ventilation / V.N. Posokhin, R.G. Safiullin, V.A. Broyda. - Moscow: ASV, 2020. - 624 p.

2. Ventilation and air conditioning systems. Theory and practice / V.A. Ananyev, L.N. Balueva, A.D. Galperin [et al.]. - Moscow: Euroclimate, 2003. - 416 p.

3. Sokolov V.I. Aerodynamics of gas flows in the ducts of complex ventilation systems. - Lugansk: VSU, 1999. - 200 p.

4. Kamenev, P.N. Ventilation. Study guide / P.N. Kamenev, E.I. Tertichnik. - Moscow: ASV, 2008. - 624 p.

5. Engineering problems of impurity diffusion in a flow / V. I. Sokolov, A. A. Kovalenko, G. S. Kalyuzhny [et al.]. - Lugansk: VUGU, 2000. - 168 p.

6. Sokolov, V. Increasing Efficiency of Ventilation Systems with Vortex Regulation Devices / V. Sokolov // Proceedings of the 8th International Conference on Industrial Engineering. ICIE 2022. Lecture Notes in Mechanical Engineering. -Cham: Springer, 2023. - P. 1012–1022.

7. Stefanov, E. V. Ventilation and air conditioning / E. V. Stefanov. - St. Petersburg: AVOK SEVERO-ZAPAD, 2005. - 400 p.

8. Maryasin, O. Yu. Thermal management of buildings using predictive models / O. Yu. Maryasin, A. S. Kolodkina // Vest. Samara state University. Series: technical sciences. - 2017. - No. 1 (53). - P. 122–132.

9. Sokolov, V. I. Hydraulics / V. I. Sokolov, O. S. Krol, O. V. Epifanova. - Severodonetsk: V. Dal SNU, 2017. - 160 p.

10. Ventilation systems: modeling, optimization / Ya. A. Gusentsova, K.N. Andriychuk, A.A. Kovalenko [et al.]. - Lugansk: V. Dal National University, 2005. - 206 p.

11. Improvement of HVAC systems based on adaptive predictive control / V. Sokolov, O. Krol, V. Andriichuk [et al.] // E3S Web of Conferences. – 2023. – Vol. 420. – 07020.

12. Krol, O. Modeling of Spindle Node Dynamics Using the Spectral Analysis Method / O. Krol, V. Sokolov // Advances in Design Simulation and Manufacturing III. DSMIE 2020. Lecture Notes in Mechanical Engineering. – Cham: Springer, 2020. – Vol. 1. – P. 35–44.

13. Sudak, V. VAV Systems. Brief Description / V. Sudak, J. Hendiger. – Krakow: SMAY, 2009. – 80 p.

14. 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.

15. Sokolov, V. Diffusion of circular source in the channels of ventilation systems / V. Sokolov // Advances in engineering research and application. ICERA 2018. Lecture notes in networks and systems. – Cham: Springer, 2019. – Vol. 63. – P. 278-283.

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. Criteria Analysis of Diffusion Processes in Channels of Industrial Ventilation Systems / V. Sokolov // Proceedings of the 7th International Conference on Industrial Engineering. ICIE 2021.

Lecture Notes in Mechanical Engineering. – Cham: Springer, 2022. – Vol. 2. – P. 725-731.

18. Sokolov, V. Increased measurement accuracy of average velocity for turbulent flows in channels of ventilation systems / V. Sokolov // Proceedings of the 6th international conference on industrial engineering (ICIE 2020). Lecture notes in mechanical engineering. – Cham: Springer, 2021. – Vol. 2. – P. 1182-1190.

19. Nadezhdin, I.S. Control systems for a non-stationary object based on an MRS controller and a PID controller with fuzzy logic / I.S. Nadezhdin, A.G. Goryunov, F. Manenti // Control of large systems. Analysis and synthesis of control systems. – 2018. – Issue. 75. – P. 50-75.

20. Kolodin, A.A., Yolshin V.V. Development and study of a controller based on a predictive model / A.A. Kolodin, V.V. Yolshin // Vest. Samara state University. Ser. technical sciences. – 2021. – Vol. 29, No. 1. – P. 36-44.

*Статья поступила в редакцию 18.11.2024*

#### Информация об авторах

**Соколов Владимир Ильич**, доктор технических наук, профессор, заместитель директора института строительства, архитектуры и жилищно-коммунального хозяйства Луганского государственного университета имени Владимира Даля, г. Луганск.

*SPIN-код: 8668-7899, AuthorID: 439665*

**E-mail:** sokolov.snu.edu@gmail.com

**Черникова Ирина Демьяновна**, старший преподаватель кафедры вентиляции, теплогазо- и водоснабжения института строительства, архитектуры и жилищно-коммунального хозяйства Луганского государственного университета имени Владимира Даля, г. Луганск.

*SPIN-код: 1793-5386, AuthorID: 1236927*

**E-mail:** chernikova\_i\_d@mail.ru

**Салуквадзе Георгий Владимирович**, аспирант кафедры вентиляции, теплогазо- и водоснабжения института строительства, архитектуры и жилищно-коммунального хозяйства Луганского государственного университета имени Владимира Даля, г. Луганск.

*SPIN-код: 6710-7028, AuthorID: 1280095*

**E-mail:** georgysalukvadze@yandex.com

#### Information about the authors

**Sokolov Vladimir Il'yich**, DSc (Eng), Professor, Deputy Director of the Institute of Construction, Architecture and Housing and Communal Services of the Lugansk State named after Vladimir Dahl, Lugansk.

*SPIN-код: 8668-7899, AuthorID: 439665*

**E-mail:** sokolov.snu.edu@gmail.com

**Chernikova Irina Demyanovna**, Senior Lecturer of Ventilation, Heat, Gas and Water Supply Department Construction, Architecture and Housing and Communal Services of the Lugansk State named after Vladimir Dahl, Lugansk.

*SPIN-код: 1793-5386, AuthorID: 1236927*

**E-mail:** chernikova\_i\_d@mail.ru

**Salukvadze Georgii Vladimirovich**, postgraduate student of Ventilation, Heat, Gas and Water Supply Department Construction, Architecture and Housing and Communal Services of the Lugansk State named after Vladimir Dahl, Lugansk.

*SPIN-код: 6710-7028, AuthorID: 1280095*

**E-mail:** georgysalukvadze@yandex.com

#### Для цитирования:

Соколов В.И., Черникова И.Д., Салуквадзе Г.В. Математическая модель комбинированной отопительно-вентиляционной системы как объекта автоматического управления // Вестник Луганского государственного университета имени Владимира Даля. – 2024. – № 12(90). – С. 78-86.

#### For citation:

Sokolov V.I., Chernikova I.D., Salukvadze G.V. Mathematical model of combined heating-ventilating system as object of automatic control // Vestnik of Lugansk State University named after Vladimir Dahl. – 2024. – № 12(90). – P. 78-86.

УДК 697

## ИДЕНТИФИКАЦИЯ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ РАБОЧИХ ПРОЦЕССОВ ОТОПИТЕЛЬНО-ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ СИСТЕМ

Соколов В. И., Черникова И. Д., Салуквадзе Г. В.

## IDENTIFICATION OF MATHEMATICAL MODELS FOR WORK PROCESSES OF HEATING-VENTILATING SYSTEMS

Sokolov V. I., Chernikova I. D., Salukvadze G. V.

**Аннотация.** Рассмотрен вопрос идентификации математических моделей рабочих процессов отопительно-вентиляционных систем. Для совершенствования методов управления данными системами необходимо иметь адекватное описание рабочих процессов, которые протекают в них. С точки зрения теории автоматического управления такие системы являются сложными объектами с распределенными параметрами, а рабочие процессы трудно поддаются четкой формализации. В этой связи актуальной является задача идентификации данных систем как объектов автоматического управления. Выполнен анализ методов структурной и параметрической идентификации сложных динамических систем. Показано, что отопительно-вентиляционные системы инерционны, в которых регулируемая переменная стабилизируется на некотором значении, а переходные процессы имеют неколебательный вид и характерное запаздывание. Рекомендована идентификация математических моделей рабочих процессов отопительно-вентиляционных систем передаточными функциями апериодических звеньев первого и второго порядков с запаздыванием. Авторами представлен пример математической модели отопительно-вентиляционной системы в виде передаточной функции для температуры в значимой (рабочей) зоне помещения по мощности теплового потока приточного воздуха.

**Ключевые слова:** математическая модель, идентификация, передаточная функция, переходной процесс.

**Abstract.** The issue of identification of mathematical models for working processes of heating-ventilating systems is considered. To improve the control methods of these systems, it is necessary to have adequate description of the work processes that flow in them. From the point of view of the automatic control theory, such systems are complex objects with distributed parameters, and work processes are difficult to formalize clearly. In this regard, the task of identifying these systems as objects of automatic control is relevant. The analysis of methods of structural and parametric identification of complex dynamic systems is carried out. It is shown that heating-ventilating systems are inertial, in which the regulated variable is stabilized at a certain value, and transients have a non-oscillatory appearance and characteristic delay. The identification of mathematical models for working processes of heating-ventilating systems by the transfer functions of the aperiodic links of the first and second orders with delay is recommended. The authors present the example of mathematical model for heating-ventilating system is presented in the form of the transfer function for the temperature at significant (working) zone of the room by the heat flow power of supply air.

**Key words:** mathematical model, identification, transfer function, transient process.

**Введение.** Системы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха (ОВКВ) являются составной частью зданий и сооружений и осуществляют формирование воздушной среды в обслуживаемых помещениях, отвечающей санитарно-гигиеническим требованиям, а также необходимой для выполнения производственных и технологических процессов [1-3]. Создание требуемого состояния воздушной среды обеспечивается удалением образующихся

избытков тепла, влаги, газа, пыли и добавлением необходимого количества предварительно подготовленного воздуха путем его нагрева или охлаждения, осушки или увлажнения, фильтрации и др. [4-6].

**Материалы и методы.** Важным резервом повышения эффективности систем ОВКВ является сокращение потребляемой мощности за счет снижения потерь энергии, связанных с процессами регулирования

аэротермодинамических характеристик систем ОВКВ и прежде всего отопительно-вентиляционных систем (ОВС) [7-9]. Это может быть достигнуто разработкой систем автоматического управления (САУ), обеспечивающих рациональное использование энергоресурсов за счет улучшения показателей качества регулирования ОВС [10-12].

Для совершенствования САУ и способов управления необходимо иметь адекватное описание процессов, которые происходят в системах ОВКВ. С точки зрения теории автоматического управления системы ОВКВ являются сложными объектами с распределенными параметрами, а процессы, которые происходят в них, трудно поддаются четкой формализации [13-16]. В этой связи актуальной является задача идентификации систем ОВКВ как объектов автоматического управления.

Идентификация представляет собой процесс построения математической модели по наблюдениям за входами и выходами системы. В большинстве случаев идентификация является многоэтапной процедурой [17-20]. Основные ее этапы представляют собой структурную, параметрическую идентификацию, а также проверку адекватности. Структурная идентификация состоит в определении путем теоретических рассуждений структуры математической модели. Параметрическая идентификация заключается в проведении идентификационного эксперимента для нахождения значений параметров модели, которые обладают свойствами достаточности и эффективности. Проверка адекватности является оценкой качества модели с помощью принятого критерия подобности объекта и модели.

Целью работы является анализ методов структурной и параметрической идентификации сложных динамических систем и разработка рекомендаций для построения математических моделей рабочих процессов ОВС.

Для получения математической модели используют два подхода: аналитический и экспериментальный. Аналитический подход состоит в аналитическом выводе уравнений объекта на основе анализа физических процессов и законов, а также в определении входящих в эти уравнения параметров по опытным данным, установленным путем специально проведенных экспериментов. Данный подход часто называют моделированием. Экспериментальный подход имеет несколько названий: метод «черного ящика», кибернетический, метод идентификации и др. В случае решения задачи идентификации в широком смысле начальной информации об

объекте не имеется, и тогда систему представляют в виде «черного ящика». Когда структура объекта, следовательно, и его модели известна, а параметры модели можно определить по результатам эксперимента, то в этом случае подход называется идентификацией в узком смысле или экспериментально-аналитическим. Также такой подход принято называть методом «серого ящика» или же параметрической идентификацией.

**Результаты и обсуждения.** Аналитический подход обычно требует больших затрат времени и дает модель относительно невысокой точности. Но при этом полученная математическая модель имеет работоспособность в широком интервале изменения переменных. Экспериментальный подход дает возможность быстро определять параметры модели. Найденная модель довольно точно может описывать отдельные режимы работы объекта, однако работоспособность модели будет ограничена более узкими диапазонами изменения исследуемых переменных.

На практике не бывает чисто аналитических или чисто экспериментальных методов, обычно прибегают к их сочетанию. Для каждого конкретного случая находят разумное сочетание аналитического и экспериментального подходов в построении математической модели.

Следует понимать, что для одного и того же процесса, протекающего в системе, математические модели могут практически не иметь общего, если они разрабатываются для применения в разных целях. В общем случае для построения моделей процессов в исследуемых объектах необходимо установить также параметры и характеристики: границы или область действия изучаемого процесса; физические ограничения, а также ограничения, накладываемые условиями безопасности; глубину детализации; требуемую точность; характер управления: управление при установившемся режиме или же динамическое управление; необходимость и характер усовершенствования модели объекта; переменные параметры состояния и переменные управления; основные возмущения и неуправляемые переменные.

Отметим, что наряду с классическими подходами к наблюдению, систематизации, построению гипотез и испытаниям при разработке моделей объектов управления немаловажное место имеют интуиция и здравый смысл. Важную роль для формирования и принятия основных допущений при нахождении определяющих зависимостей между базовыми переменными, а также для выработки изначального подхода к построению модели

исследуемого объекта играет интуиция. А для обеспечения необходимого баланса, с одной стороны, точности и полноты описания математической модели и, с другой сложности и трудоемкости, требуется здравый смысл.

Методы идентификации классифицируют по определенному ряду признаков, в частности, по свойствам объекта управления, по типу входного воздействия, по степени оперативности и др. Также различают методы в зависимости от принятых критериев приближения модели и объекта.

По свойствам объектов управления различают методы идентификации: статических и динамических, линейных и нелинейных, стационарных и нестационарных, одномерных и многомерных, непрерывных и дискретных, с сосредоточенными и с распределенными параметрами, детерминированных и стохастических объектов управления. Наиболее детальными являются методы идентификации статических и динамических линейных стационарных объектов управления с сосредоточенными параметрами.

По типу входного воздействия различают методы активного эксперимента и методы пассивного эксперимента.

По степени оперативности различают методы оперативной идентификации (одновременно с поступающей информацией) и ретроспективной (послеопытной) идентификации. В большинстве своем методы идентификации являются ретроспективными.

Имеющиеся методы параметрической идентификации позволяют установить параметры объекта управления с заданной структурой его математической модели для полученных экспериментальных данных (имеется в виду как физический эксперимент, так и численный эксперимент по сложным математическим моделям, например, моделям с распределенными параметрами в частных производных). При таком условии отсутствует необходимость в информации о законах распределения для случайных значений параметров исследуемого объекта. С учетом сложности и распределенности систем ОВКВ рационально провести параметрическую идентификацию объекта по экспериментальным переходным характеристикам.

Таким образом, для получения адекватной математической модели аэротермодинамических процессов в системе ОВКВ наиболее целесообразным является использование экспериментального метода, именно тогда активный и пассивный эксперименты позволяют получить достоверное математическое описание

процессов, происходящих в системе. Причем пассивный эксперимент может быть проведен без активного участия исследователя ввиду самостоятельного хода процесса. Отметим, что под пассивным экспериментом понимается эксперимент, при котором уровни факторов в каждом опыте регистрируются исследователем, но не задаются. Выполнение активного эксперимента для системы ОВКВ возможно только с отработкой предварительно заданных уровней определенных факторов, требующих трудоемкого планирования и проведения эксперимента.

Для получения математических моделей динамических систем на основе измеренных входных и выходных данных реальной системы рекомендуется использование возможностей специального набора программных инструментов System Identification Toolbox (SIT) пакета прикладных программ MATLAB. Работу с набором инструментов SIT начинают через графический интерфейс при помощи команды *ident*. С помощью специализированного пакета SIT можно выполнять идентификацию объекта управления как «черного ящика» при оценке параметров модели, предварительно определенной пользователем. Также можно использовать идентифицированную модель для предсказания реакции системы, а также для моделирования временных и частотных характеристик системы в среде Simulink. Модели, построенные с помощью пакета SIT, являются дискретными и могут быть представлены в трех формах матричной записи моделей. Первая форма – представление в так называемом тета-формате (используется для временных моделей), вторая форма – представление в частотном формате (используется для частотных характеристик) и третья форма – представление в формате нулей и полюсов.

Для выбора наиболее оптимальной структуры и параметров математических моделей в специализированном пакете SIT MATLAB имеются специальные функции для параметрического оценивания, а также для задания, изменения или уточнения структуры модели. Оценка параметров модели для выбранной структуры выполняется путем минимизации общепринятого критерия качества модели – среднего квадрата рассогласования выходов объекта и его модели.

Для численного оценивания моделей в SIT MATLAB используются остаточная сумма квадратов ошибки *LF* (Loss function), окончательная ошибка прогноза Акаике *FPE* (Akaike's Final Prediction Error) и среднеквадратичное рассогласование *BF* (Best

Fits). Определение критериев  $LF$  и  $FPE$  тесно связано.

Остаточная сумма квадратов ошибки  $LF$  называется теоретическим информационным критерием Акаике, который обычно называется просто AIC – Akaike's Information Theoretic Criterion. Значение данного критерия определяется выражением вида:

$$LF = \log(L) + 2d/N, \quad (1)$$

где  $L$  – максимизированное значение функции правдоподобия модели;  $d$  – число оцениваемых параметров;  $N$  – число данных оценки.

Информационный критерий Акаике AIC представляет собой меру качества модели, который имитирует ситуацию, когда модель тестируют для другого набора данных. По сути, AIC является оценочной мерой качества каждой из доступных параметрических моделей, так как они соотносятся друг с другом при определенном наборе данных. Это делает данный критерий идеальным способом выбора модели.

Окончательная ошибка прогнозирования Акаике  $FPE$  устанавливается согласно такому выражению:

$$FPE = L \left( \frac{1+d/N}{1-d/N} \right). \quad (2)$$

После рассмотрения нескольких различных моделей есть возможность сравнения их по этим критериям. Для наиболее точной модели по теории Акаике получаются наименьшие значения  $LF$  и  $FPE$ .

Как отмечалось выше, набор программных инструментов SIT MATLAB Toolbox предлагает также критерий адекватности  $BF$ , представляющий собой среднеквадратичное рассогласование и который отображает меру совпадения экспериментальных и прогнозируемых данных в процентах. Значение  $BF=100\%$  означает идеальное совпадение параметрической модели, а  $BF=0\%$  соответствует модели, которая совсем не подходит.

Рабочие процессы в системах ОВКВ подчиняются сложным физическим законам и описываются математическими моделями с распределенными параметрами в виде дифференциальных уравнений в частных производных [4, 8]. Полное описание аэротермодинамических характеристик в системе ОВКВ требует рассмотрения пространственного турбулентного течения, процессов теплообмена, который в общем случае осуществляется теплопроводностью, конвекцией и тепловым излучением. Поэтому реально составленная математическая модель скорее всего будет практически непригодной для целей управления.

С учетом отмеченного при разработке САУ ОВКВ необходимо сложную математическую модель аэротермодинамических характеристик с распределенными параметрами в частных производных и граничными условиями, которые также могут являться дифференциальными уравнениями в частных производных, заменить более простой адекватной моделью с сосредоточенными параметрами в виде обыкновенных дифференциальных уравнений. Такая модель должна включать в себя переменные, которые зависят только от времени и не зависят от координат.

Рассматривая системы ОВКВ как объект управления, в общем случае в качестве управляющего сигнала следует рассматривать изменение тепловой мощности, в частных случаях этим параметром может быть температура теплоносителя или его расход, температура или расход приточного воздуха для ОВС и т.п. Обычно в качестве регулируемой переменной рассматривается температура в значимой (рабочей) зоне помещения.

Вместе с тем, несмотря на сложность математического описания рабочих процессов в ОВС, они имеют общие черты. Данные системы инерционны и являются объектами с саморегулированием, т.е. регулируемая переменная стабилизируется на некотором значении. Переходные процессы в ОВС имеют неколебательный вид и характерное запаздывание. В этой связи наиболее рациональным будет построение математических моделей ОВС как объектов автоматического управления путем их идентификации по экспериментальным данным в виде таких передаточных функций:

$$W_1(s) = \frac{ke^{-\tau s}}{T_0 s + 1}; \quad (3)$$

$$W_2(s) = \frac{ke^{-\tau s}}{(T_1 s + 1)(T_2 s + 1)}, \quad (4)$$

где  $s$  – переменная Лапласа;  $k$  – коэффициент передачи;  $T_0, T_1, T_2$  – постоянные времени;  $\tau$  – время запаздывания.

Передаточная функция (3) представляет собой апериодическое звено первого порядка с запаздыванием, передаточная функция (4) также определяет апериодическое звено с запаздыванием, но уже второго порядка.

Переходные характеристики для передаточных функций (3) и (4) имеют соответственно вид:

$$h(t) = \begin{cases} 0, & t \leq \tau; \\ k \left( 1 - e^{-\frac{t-\tau}{T_0}} \right), & t > \tau. \end{cases} \quad (5)$$

$$h(t) = \begin{cases} 0, & t \leq \tau; \\ k \left( 1 - \frac{T_1}{T_1 - T_2} e^{-\frac{t-\tau}{T_1}} - \frac{T_2}{T_2 - T_1} e^{-\frac{t-\tau}{T_2}} \right), & t > \tau. \end{cases} \quad (6)$$

Наличие аналитических выражений для переходных функций (4) и (5) позволяют свести задачу параметрической идентификации к задаче оптимизации: поиску минимума функции нескольких переменных. В качестве минимизируемой функции принимается сумма квадратичных отклонений расчетных и экспериментальных значений выходной переменной объекта управления. Отметим, что под экспериментальным значением в общем случае следует понимать результат как физического эксперимента, так и результат численного эксперимента на полной

математической модели. Автоматизировать процесс можно использованием в пакете прикладных программ MATLAB встроенной функции *fminsearch*.

Значение коэффициента передачи  $k$  удобно определить по установившемуся значению выходной переменной. Также можно рассматривать безразмерные переменные, т.е. принять  $k = 1$ . Тогда в случае идентификации объекта управления аperiодическим звеном первого порядка с запаздыванием задача параметрической идентификации сводится к задаче оптимизации функции двух переменных:  $\tau$  и  $T_0$ , а в случае идентификации объекта управления аperiодическим звеном второго порядка с запаздыванием – к задаче оптимизации функции трех переменных:  $\tau$ ,  $T_1$ , и  $T_2$ .

Покажем вышесказанное на примере. При подаче теплового потока мощностью  $2,52 \text{ кВт}$  от ОВС в помещение объемом  $134,4 \text{ м}^3$  проведены измерения температуры  $T$  во времени  $t$  в значимой (рабочей) зоне с шагом  $60 \text{ с}$ , представленные на рис. 1.

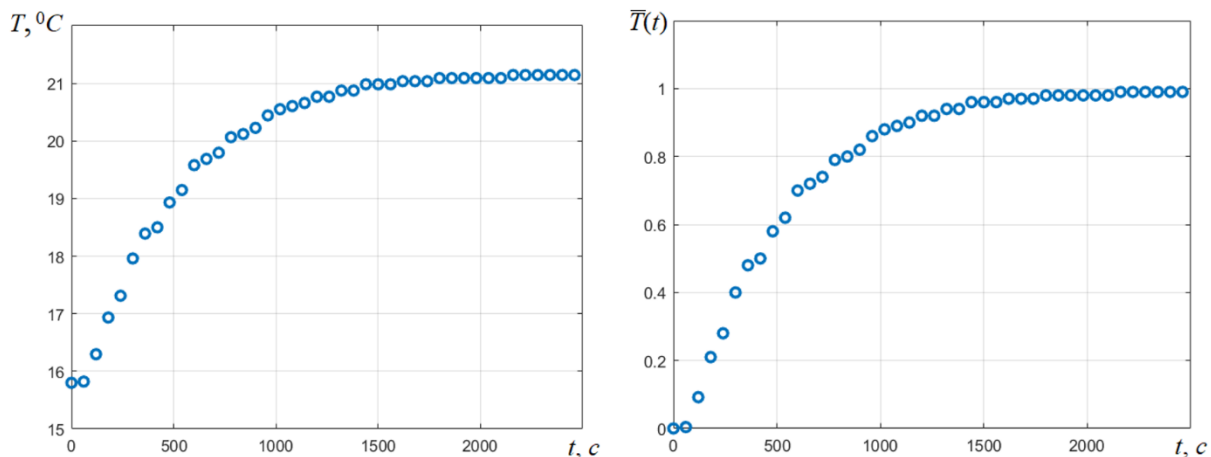


Рис. 1. Изменение температуры в рабочей зоне

Структурно идентифицируем систему аperiодическим звеном второго порядка с запаздыванием (4). Для упрощения процедуры параметрической идентификации полученные экспериментальные данные приводим к безразмерному виду:

$$\bar{T}(t) = \frac{T(t) - T(0)}{T_{уст} - T(0)}, \quad (7)$$

где  $T(0)$ ,  $T_{уст}$  – начальное и установившееся значение температуры в рабочей зоне (для условий проведения эксперимента  $T(0) = 15,8 \text{ } ^\circ\text{C}$ .  $T_{уст} = 21,1 \text{ } ^\circ\text{C}$ ).

Изменение безразмерной температуры в значимой (рабочей) зоне показано также на рис. 1.

Для полученной зависимости  $k = 1$ , а задача параметрической идентификации сводится к задаче поиска минимума функции суммы квадратичных отклонений расчетных (6) и экспериментальных значений (7) для трех переменных  $\tau$ ,  $T_1$  и  $T_2$ . Результаты расчета в среде пакета прикладных программ MATLAB дают такие результаты:  $T_1 = 25,8 \text{ с}$ ;  $T_2 = 457 \text{ с}$ ;  $\tau = 49,7 \text{ с}$ .

Переходная характеристика  $h(t)$  для объекта управления с передаточной функцией

$$W(s) = \frac{e^{-49,7s}}{(25,8s+1)(457s+1)} = \frac{e^{-49,7s}}{1,179 \cdot 10^4 s^2 + 4,828 \cdot 10^2 s + 1} \quad (8)$$

показана на рис. 2.

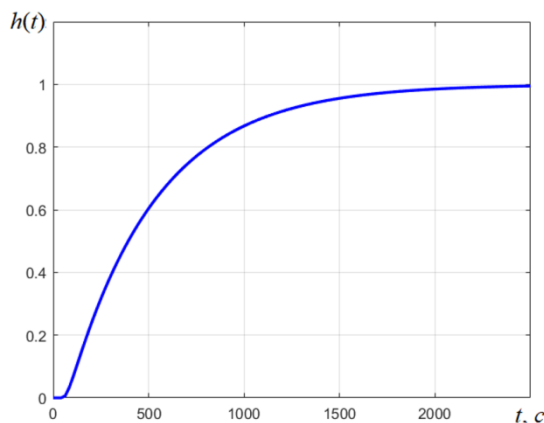


Рис. 2. Переходная характеристика

Представленные методы параметрической идентификации позволяют установить параметры объекта управления с заданной структурой его математической модели для полученных экспериментальных данных. В общем случае под экспериментом следует понимать как физический эксперимент, так и численный эксперимент по трудоемким математическим моделям с распределенными параметрами в частных производных. С учетом сложности и распределенности систем ОВКВ рационально проводить параметрическую идентификацию математических моделей рабочих процессов ОВС по экспериментальным переходным характеристикам.

**Выводы.** Для совершенствования ОВС необходимо иметь адекватное описание рабочих процессов, которые протекают в них. В этой связи актуальной является задача идентификации данных систем как объектов автоматического управления.

Выполнен анализ методов структурной и параметрической идентификации сложных динамических систем и разработаны рекомендации для построения математических моделей ОВС. Отмечено, что для получения адекватной математической модели аэротермодинамических процессов в ОВС наиболее целесообразным является использование экспериментального метода, который позволяет получить достоверное математическое описание процессов, происходящих в системе. При этом эксперимент может быть пассивным, когда уровни факторов в

каждом опыте регистрируются исследователем, но не задаются.

Показано, что ОВС инерционны и являются объектами с саморегулированием, т.е. регулируемая переменная стабилизируется на некотором значении. Переходные процессы в ОВС имеют неколебательный вид и характерное запаздывание. В этой связи наиболее рациональным будет построение математических моделей ОВС как объектов автоматического управления путем их идентификации по экспериментальным данным в виде передаточных функций первого и второго порядков с запаздыванием.

Представлен пример математической модели ОВС в виде передаточной функции для температуры в значимой (рабочей) зоне помещения по мощности теплового потока приточного воздуха.

#### Список источников

1. Посохин, В.Н. Вентиляция / В.Н. Посохин, Р.Г. Сафиуллин, В.А. Бройда. – Москва: АСВ, 2020. – 624 с.
2. Соколов В.И. Аэродинамика газовых потоков в каналах сложных вентиляционных систем. – Луганск: ВГУ, 1999. – 200 с.
3. Системы вентиляции: моделирование, оптимизация / Я.А. Гусенцова, К.Н. Андрийчук, А.А. Коваленко [и др.]. – Луганск: ВНУ им. В. Даля, 2005. – 206 с.
4. Системы вентиляции и кондиционирования. Теория и практика / В.А. Ананьев, Л.Н. Балугева, А.Д. Гальперин [и др.]. – Москва: Евроклимат, 2003. – 416 с.
5. Инженерные задачи диффузии примеси в потоке / В.И. Соколов, А.А. Коваленко, Г.С. Калужный [и др.]. – Луганск: ВУГУ, 2000. – 168 с.
6. Соколов, В.І. Гідравліка / В.І. Соколов, О.С. Кроль, О.В. Єпіфанова. – Сєвєродонєцьк: СНУ ім. В. Даля, 2017. – 160 с.
7. Каменев, П.Н. Вентиляция. Учебное пособие / П.Н. Каменев, Е.И. Тертичник. – Москва: АСВ, 2008. – 624 с.
8. Sokolov, V. Increasing Efficiency of Ventilation Systems with Vortex Regulation Devices / V. Sokolov // Proceedings of the 8th International Conference on Industrial Engineering. ICIE 2022. Lecture Notes in Mechanical Engineering. – Cham: Springer, 2023. – P. 1012–1022.
9. Sokolov, V. Diffusion of circular source in the channels of ventilation systems / V. Sokolov // Advances in engineering research and application.

ICERA 2018. Lecture notes in networks and systems. – Cham: Springer, 2019. – Vol. 63. – P. 278-283.

10. Судак, В. Системы VAV. Краткое описание / В. Судак, Я. Хендигер. – Краков: SMAY, 2009. – 80 с.

11. Improvement of HVAC systems based on adaptive predictive control / V. Sokolov, O. Krol, V. Andriichuk [et al.] // E3S Web of Conferences. – 2023. – Vol. 420. – 07020.

12. Krol, O. Modeling of Spindle Node Dynamics Using the Spectral Analysis Method / O. Krol, V. Sokolov // Advances in Design Simulation and Manufacturing III. DSMIE 2020. Lecture Notes in Mechanical Engineering. – Cham: Springer, 2020. – Vol. 1. – P. 35-44.

13. Стефанов, Е.В. Вентиляция и кондиционирование воздуха / Е.В. Стефанов. – Санкт-Петербург: АВОК СЕВЕРО-ЗАПАД, 2005. – 400 с.

14. 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.

15. 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.

16. Sokolov, V. Increased measurement accuracy of average velocity for turbulent flows in channels of ventilation systems / V. Sokolov // Proceedings of the 6th international conference on industrial engineering (ICIE 2020). Lecture notes in mechanical engineering. – Cham: Springer, 2021. – Vol. 2. – P. 1182-1190.

17. Перекрест, А. Л. Идентификация процессов в системах отопления учебных зданий / А.Л. Перекрест, Т.В. Карайбида // Вестник Кременчугского нац. ун-та им. М. Остроградского. – 2014. – № 2(85). – С. 61-68.

18. Дилигенская, А.Н. Идентификация объектов управления / А.Н. Дилигенская. – Самара: Самар. гос. техн. ун-т., 2009. – 136 с.

19. Sokolov, V. Criteria Analysis of Diffusion Processes in Channels of Industrial Ventilation Systems / V. Sokolov // Proceedings of the 7th International Conference on Industrial Engineering. ICIE 2021. Lecture Notes in Mechanical Engineering. – Cham: Springer, 2022. – Vol. 2. – С. 725-731.

20. Бойков, И.В. Методы идентификации динамических систем / И.В. Бойков, Н.П. Кривулин // Программные системы: теория и приложения. – 2014. – № 5(23). – С. 79-86.

## References

1. Posokhin, V.N. Ventilation / V.N. Posokhin, R.G. Safiullin, V.A. Broyda. – Moscow: ASV, 2020. – 624 p.

2. Sokolov V.I. Aerodynamics of gas flows in the ducts of complex ventilation systems. – Lugansk: VSU, 1999. – 200 p.

3. Ventilation systems: modeling, optimization / Ya.A. Gusentsova, K.N. Andriychuk, A.A. Kovalenko [et al.]. – Lugansk: VNU im. Dahl, 2005. – 206 p.

4. Ventilation and air conditioning systems. Theory and practice / V.A. Ananyev, L.N. Balueva, A.D. Galperin [et al.]. – Moscow: Evroklimat, 2003. – 416 p.

5. Engineering problems of impurity diffusion in a flow / V. I. Sokolov, A. A. Kovalenko, G. S. Kalyuzhny [and others]. – Lugansk: VUGU, 2000. – 168 p.

6. Sokolov, V. I. Hydraulics / V. I. Sokolov, O. S. Krol, O. V. Epifanova. – Severodonetsk: SNU named after V. Dal, 2017. – 160 p.

7. Kamenev, P. N. Ventilation. Study guide / P. N. Kamenev, E. I. Tertichnik. – Moscow: ASV, 2008. – 624 p.

8. Sokolov, V. Increasing Efficiency of Ventilation Systems with Vortex Regulation Devices / V. Sokolov // Proceedings of the 8th International Conference on Industrial Engineering. ICIE 2022. Lecture Notes in Mechanical Engineering. – Cham: Springer, 2023. – P. 1012-1022.

9. Sokolov, V. Diffusion of circular source in the channels of ventilation systems / V. Sokolov // Advances in engineering research and application. ICERA 2018. Lecture notes in networks and systems. – Cham: Springer, 2019. – Vol. 63. – P. 278-283.

10. Судак, В. VAV systems. Brief description / V. Судак, Я. Хендигер. – Краков: SMAY, 2009. – 80 p.

11. Improvement of HVAC systems based on adaptive predictive control / V. Sokolov, O. Krol, V. Andriichuk [et al.] // E3S Web of Conferences. – 2023. – Vol. 420. – 07020.

12. Krol, O. Modeling of Spindle Node Dynamics Using the Spectral Analysis Method / O. Krol, V. Sokolov // Advances in Design Simulation and Manufacturing III. DSMIE 2020. Lecture Notes in Mechanical Engineering. – Cham: Springer, 2020. – Vol. 1. – P. 35-44.

13. Stefanov, E.V. Ventilation and air conditioning / E.V. Stefanov. – St. Petersburg: AVOK NORTH-WEST, 2005. – 400 p.

14. 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.

15. 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.

16. Sokolov, V. Increased measurement accuracy of average velocity for turbulent flows in channels of ventilation systems / V. Sokolov // Proceedings of the 6th international conference on industrial engineering

(ICIE 2020). Lecture notes in mechanical engineering. – Cham: Springer, 2021. – Vol. 2. – P. 1182–1190.

17. Perekrest, A. L. Identification of processes in heating systems of educational buildings / A. L. Perekrest, T. V. Karaibida // Bulletin of the Kremenchuk National University named after M. Ostrogradsky. – 2014. – No. 2(85). – P. 61–68.

18. Diligenskaya, A. N. Identification of control objects / A. N. Diligenskaya. – Samara: Samara state tech. un-t., 2009. – 136 p.

19. Sokolov, V. Criteria Analysis of Diffusion Processes in Channels of Industrial Ventilation Systems

/ V. Sokolov // Proceedings of the 7th International Conference on Industrial Engineering. ICIE 2021. Lecture Notes in Mechanical Engineering. – Cham: Springer, 2022. – Vol. 2. – P. 725–731.

20. Boykov, I.V. Methods for Identification of Dynamic Systems / I.V. Boykov, N.P. Krivulin // Software Systems: Theory and Applications. – 2014. – No. 5(23). – P. 79–86.

*Статья поступила в редакцию 18.11.2024*

#### Информация об авторах

**Соколов Владимир Ильич**, доктор технических наук, профессор, заместитель директора института строительства, архитектуры и жилищно-коммунального хозяйства Луганского государственного университета имени Владимира Даля, г. Луганск.

*SPIN-код: 8668-7899, AuthorID: 439665*

**E-mail:** sokolov.snu.edu@gmail.com

**Черникова Ирина Демьяновна**, старший преподаватель кафедры вентиляции, теплого- и водоснабжения института строительства, архитектуры и жилищно-коммунального хозяйства Луганского государственного университета имени Владимира Даля, г. Луганск.

*SPIN-код: 1793-5386, AuthorID: 1236927*

**E-mail:** chernikova\_i\_d@mail.ru

**Салуквадзе Георгий Владимирович**, аспирант кафедры вентиляции, теплого- и водоснабжения института строительства, архитектуры и жилищно-коммунального хозяйства Луганского государственного университета имени Владимира Даля, г. Луганск.

*SPIN-код: 6710-7028, AuthorID: 1280095*

**E-mail:** georgysalukvadze@yandex.com

#### Information about the authors

**Sokolov Vladimir Il'yich**, DSc (Eng), Professor, Deputy Director of the Institute of Construction, Architecture and Housing and Communal Services of the Lugansk State named after Vladimir Dahl, Lugansk.

*SPIN-код: 8668-7899, AuthorID: 439665*

**E-mail:** sokolov.snu.edu@gmail.com

**Chernikova Irina Demyanovna**, Senior Lecturer of Ventilation, Heat, Gas and Water Supply Department Construction, Architecture and Housing and Communal Services of the of Lugansk State University named after Vladimir Dahl.

*SPIN-код: 1793-5386, AuthorID: 1236927*

**E-mail:** chernikova\_i\_d@mail.ru

**Salukvadze Georgii Vladimirovich**, postgraduate student of Ventilation, Heat, Gas and Water Supply Department Construction, Architecture and Housing and Communal Services of the Lugansk State named after Vladimir Dahl, Lugansk.

*SPIN-код: 6710-7028, AuthorID: 1280095*

**E-mail:** georgysalukvadze@yandex.com

---

#### Для цитирования:

Соколов В.И., Черникова И.Д., Салуквадзе Г.В. Идентификация математических моделей рабочих процессов отопительно- вентиляционных систем // Вестник Луганского государственного университета имени Владимира Даля. – 2024. – № 12(90). – С. 87-94.

#### For citation:

Sokolov V.I., Chernikova I.D., Salukvadze G.V. Identification of mathematical models for work processes of heating- ventilating systems // Vestnik of Lugansk State University named after Vladimir Dahl. – 2024. – № 12(90). – P. 87-94.

---

УДК 621.791.052:539.4.01

## ПРИНЦИПЫ КОМПОНОВКИ СЕЧЕНИЙ СЖАТЫХ ЭЛЕМЕНТОВ С УЧЕТОМ НАЛИЧИЯ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ

Хвортова М. Ю.

## PRINCIPLES OF THE LAYOUT OF SECTIONS OF COMPRESSED ELEMENTS, TAKING INTO ACCOUNT THE PRESENCE OF RESIDUAL STRESSES

Khvortova M. Y.

**Аннотация.** В статье рассматриваются методы регулирования остаточного напряженного состояния для повышения несущей способности металлических колонн и возможность их применения при изготовлении конструкций по существующим типовым технологическим схемам. Обоснована методика и приведена последовательность компоновки сечений обычных и предварительно напряженных различными способами сжатых металлических элементов, имеющих остаточные напряжения.

**Ключевые слова:** остаточные напряжения, методика, компоновка, сжатые элементы

**Abstract.** The article discusses methods for regulating the residual stress state to increase the bearing capacity of metal columns and the possibility of their use in the manufacture of structures according to existing standard technological schemes. The methodology is substantiated and the sequence of the arrangement of sections of conventional and prestressed compressed metal elements with residual stresses in various ways is given.

**Key words:** residual stresses, methodology, layout, compressed elements.

**Введение.** В процессе изготовления сварных конструкций присутствуют операции, которые влекут за собой появление в элементах остаточных напряжений. Остаточные сварочные напряжения и деформации не связаны с действием внешних сил, являются внутренними собственными напряжениями первого рода, уравновешиваемыми в объеме элемента и вызывающими его деформацию. Наличие в металлических конструкциях остаточного напряженного состояния (ОНС) в ряде случаев приводит к снижению несущей способности элементов. В связи с этим возникают проблемы, связанные с регулированием такого состояния.

**Целью работы является** обоснование возможности применения при изготовлении металлических конструкций по существующим типовым технологическим схемам регулирования остаточного напряженного состояния и предложения по методике компоновки сечений предварительно напряженных сжатых металлических элементов, имеющих остаточные напряжения.

**Результаты и обсуждения.** Металлические конструкции в условиях заводов и цехов металлических конструкций изготавливаются по типовым технологическим схемам, в состав которых входят операции: подготовка вертикальных и горизонтальных листов (стыковка

автоматической сваркой под флюсом с полным проваром и контролем УЗД 100%, правка полотнища, роспуск листов, разделка кромок), сборка, сварка и правка готовых изделий, фрезеровка торцов. Роспуск листов осуществляется либо гильотинными ножницами, либо машинной газовой резкой. Поясные швы свариваются, как правило, полуавтоматом в среде защитных газов (аргон + углекислый газ).

Способы регулирования ОНС путем локальных термических воздействий (ЛТВ) заключаются в разогреве отдельных участков стальных конструкций до температуры выше критической точки  $A_{C3}$  (не превышающей  $950^{\circ}\text{C}$ ) с последующим интенсивным охлаждением или в наложении валиков. В сжатых элементах двутаврового сечения участками, подвергающимися ЛТВ, являются кромки поясов.

Установка для изготовления сварных двутавров может быть использована для изготовления стальных колонн и балок с регулируемым ОНС путем ЛТВ. Для этой цели требуется принять следующую технологическую схему изготовления:

- подготовку установки (стана) к работе;
- предварительную сборку балки и настройку установки (стана). При этом необходимо зафиксировать пояса и стенку электроприхватками по всей длине балки и

настроить нагревательные устройства на нагрев кромок до температуры  $(723 - 900) ^\circ\text{C}$  или наплавку валика;

- сварку балки.

Таким образом, предлагаемая технология регулирования ОНС ЛТВ для повышения несущей способности колонн и балок легко вписывается в типовые технологические схемы изготовления конструкций и может быть использована при их массовом выпуске. Оптимальное ОНС с применением наплавки валиков на кромках поясов можно создать после изготовления конструкций в условиях любых заводов и цехов металлоконструкций при условии наличия соответствующего оборудования.

Компоновку сечения предварительно напряженных различными способами сжатых элементов рекомендуется производить в такой последовательности.

1. Задаются исходными данными для проектирования:  $N$ ,  $l_{ef,x}$ ,  $l_{ef,y}$ ,  $\varphi$  (здесь  $\varphi$  – начальное значение коэффициента продольного изгиба, принимается в пределах  $\varphi = 0,7...0,8$ ).

2. Задаются прочностными и деформативными характеристиками материалов поясов и стенки в зависимости от способа предварительного напряжения.

3. Принимают  $[\sigma_w] = R_y^w$  (для случая предварительного напряжения вытяжкой поясов) или вычисляют (для случая предварительного напряжения вытяжкой стенки)

$$[\sigma_w] = 70 \cdot (1,4 - \varphi^2)^2. \quad (1)$$

4. Определяют оптимальное значение коэффициента компоновки двутаврового сечения по формуле:

$$\alpha = 2,54 \cdot \xi \cdot \left(1 + \sqrt{1 + \frac{0,131}{\xi}}\right), \quad (2)$$

$$\xi = \left(\frac{1,4 - \varphi_x^2}{1,56 - \varphi_y}\right) \cdot \left(\frac{l_{ef,y}}{l_{ef,x}}\right)^2 \sqrt{\frac{R_y^{opt}}{[\sigma_w]}}. \quad (3)$$

5. Находят высоту сечения колонны (расстояние между центрами сечения поясных листов)

$$h = \sqrt{\frac{2,5 \cdot N \cdot (1,4 - \varphi_x^2)}{\varphi \cdot R_y^{opt} \cdot (1 + 2 \cdot \alpha)}} \sqrt{\frac{E_w}{[\sigma_w]}}. \quad (4)$$

6. Подбор сечения сжатого элемента производится в такой последовательности.

6.1. Вычисляют требуемую толщину стенки

$$t_w = \frac{h}{2,5 \cdot (1,4 - \varphi^2)} \sqrt{\frac{[\sigma_w]}{E_w}}. \quad (5)$$

6.2. Находят площадь одного пояса

$$A_f = 0,5 \cdot \left( \frac{N}{\varphi \cdot R_y^{opt}} - h_w \cdot t_w \right). \quad (6)$$

6.3. Определяют размеры пояса

$$b_f = h \cdot \left( \frac{l_{ef,y}}{l_{ef,x}} \right) \cdot \sqrt{\frac{1 + 6 \cdot \alpha}{2 \cdot \alpha}}. \quad (7)$$

6.4. По сортаменту подбирают сечения поясов и стенки, вычисляют

$$\alpha = \frac{b_f \cdot t_f}{h_w \cdot t_w}. \quad (8)$$

6.5. Находят величины гибкости  $(\bar{\lambda}_x, \bar{\lambda}_y)$ ,

коэффициенты продольного изгиба  $(\varphi_x, \varphi_y)$  и параметры предварительного напряжения

$$\beta_f = \frac{n + 2 \cdot \alpha}{\frac{\varphi_y}{\varphi_x} + 2 \cdot \alpha}, \quad (9)$$

$$\beta_w = \frac{\beta_f \cdot R_y^f}{[\sigma_w]}, \quad (10)$$

где  $n = \frac{[\sigma_w]}{R_y^f}$  – отношение предельных

напряжений в стенке к расчетному сопротивлению стали поясов.

6.6. Вычисляют установившиеся напряжения в стенке

$$[\sigma_w^{уст}] = [\sigma_w] \cdot (\beta_f - 1) \leq R_y^w. \quad (11)$$

В случае предварительного напряжения вытяжкой стенки назначают марку стали стенки, при этом  $R_y^w \geq \sigma_w^{уст}$ .

6.7. Определяют геометрические характеристики скомпонованного сечения.

7. В соответствии с указаниями СП 16.13330.2017 [1] или по формулам (1)–(4) [2] находят коэффициенты продольного изгиба, считая  $R_y = R_y^{opt}$ .

8. Вычисления по п.п. 3-7 продолжают до тех пор, пока не выполнится условие

$$|\varphi^j - \varphi^{j-1}| \leq 0,001, \quad (12)$$

где  $j$  – номер итерации расчета.

9. Проверяют несущую способность скомпонованного сечения

$$\sigma_f = \frac{N}{\varphi \cdot A} \leq \gamma_c \cdot \beta_f \cdot R_y^f; \quad (13)$$

$$\sigma_w = \frac{N}{\varphi \cdot A} \leq \gamma_c \cdot \beta_w \cdot [\sigma_w], \quad (14)$$

где  $\sigma_f$ ,  $\sigma_w$  – фактические напряжения соответственно в поясах и стенке от действующей нагрузки.

Если  $b_f > h_w$ , сечение проектируется из условия  $b_f = h_w$  в такой последовательности.

1. Вычисляют требуемую площадь поясов

$$A_f^{\text{тп}} = \frac{N}{\varphi \cdot \gamma_c \cdot R_y^{\text{opt}} \cdot \left[ 2 + \frac{1,56 - \varphi}{1,69 \cdot (1,4 - \varphi^2)} \right] \cdot \sqrt{\left[ \frac{\sigma_w}{R_y^f} \right]}}. \quad (15)$$

2. Вычисляют требуемую толщину и ширину пояса

$$t_f = \sqrt{\frac{A_f}{1,477 \cdot (1,56 - \varphi)}}; \quad (16)$$

$$b_f = \frac{A_f}{t_f}. \quad (17)$$

3. Находят требуемую толщину стенки

$$t_w^{\text{min}} = \frac{b_f}{2,5 \cdot (1,4 - \varphi^2)}. \quad (18)$$

4. Назначают толщину поясов и стенки с учетом сортамента листового проката, определяют коэффициент компоновки и гибкость элемента:

$$\alpha = \frac{A_f}{A_w}; \quad (19)$$

$$\overline{\lambda}_y = \frac{l_{\text{ef } y}}{b_f} \cdot \sqrt{\frac{6 \cdot (1 + 2 \cdot \alpha) \cdot R_y^{\text{opt}}}{\alpha \cdot E_f}}. \quad (20)$$

5. Выполняют проверку сечения по формулам (13) и (14).

Учет влияния ОН в двутаврах на стадии компоновки сечения выполняется путем введения коэффициентов продольного изгиба  $\varphi$ , значения которых получены по формулам (1)-(4) [2].

**Выводы.** В условиях технологических процессов изготовления колонн и балок имеется

возможность выполнения регулирования ОНС конструкций.

Регулирование ОНС осуществляется после завершения основного цикла изготовления путем разогрева отдельных участков конструкций до температуры выше критической точки  $A_{C3}$  или наплавки валиков, в том числе и на части длины. Регулирование ОНС позволит изготавливать более экономичные по расходу материала конструкции. Предлагаемая методика для расчета и компоновки сечений сжатых стержней может быть принята для инженерных расчетов при проектировании предварительно напряженных металлических конструкций.

#### Список источников

1. СП 16.13330.2017. Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II -223-81\* [Электронный ресурс] / Минстрой России. – М.: ФГУП «Стандартинформ», 2017. – 140 с.

2. Хвортова М.Ю. Предложения по расчету центрально-сжатых металлических стержней, имеющих поля начальных напряжений // Вестник Луганского государственного университета имени Владимира Даля. – 2023. – №12(78). – С. 95 -97.

#### References

1. SP 16.13330.2017. Steel structures. Updated version of SNiP II -223-81\* [Electronic resource] / Ministry of Construction of Russia. – M.: FSUE "Standartinform", 2017. – 140 p.

2. Khvortova M.Y. Proposals for the calculation of centrally compressed metal rods having fields of initial stresses // Bulletin of Lugansk State University named after Vladimir Dahl. – 2023. – №12(78). – P. 95-97.

*Статья поступила в редакцию 18.11.2024*

#### Информация об авторе

**Хвортова Марина Юрьевна**, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Промышленное, гражданское строительство и архитектура» Луганского государственного университета имени Владимира Даля, г. Луганск.  
Автор ID: 1228705, SPIN-код: 1203-2172  
E-mail: mkhvortova@mail.ru

#### Information about the author

**Khvortova Marina Yuryevna**, candidate of technical sciences, associate professor, head of the Department of Industrial, Civil Engineering and Architecture of Lugansk State University named after Vladimir Dahl, Lugansk.  
Author ID: 122870, SPIN- code: 1203-2172  
E-mail: mkhvortova@mail.ru

#### Для цитирования:

Хвортова М.Ю. Принципы компоновки сечений сжатых элементов с учетом наличия остаточных напряжений// Вестник Луганского государственного университета имени Владимира Даля. – 2024. – № 12(90). – С. 95-97.

#### For citation:

Khvortova M.Y. Principles of arrangement of sections of compressed elements taking into account the presence of residual stresses// Vestnik of Lugansk State University named after Vladimir Dahl. – 2024. – № 12(90). – P. 95-97.

УДК 535.247.4:535.243

## ВЛИЯНИЕ НА ФОТОЭМИССИЮ ИЗ АРСЕНИДА ГАЛЛИЯ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В ИНФРАКРАСНОЙ ОБЛАСТИ СПЕКТРА

Черников Н. Г., Черникова И. Д., Черникова Е. Н.

## INFLUENCE OF ADDITIONAL INFRARED RADIATION ON PHOTOEMISSION FROM GALLIUM ARSENIDE

Chernikov N. G., Chernikova I. D., Chernikova E. N.

**Аннотация.** Известно, что время от времени установившиеся разделы науки переживают периоды скачкообразного развития, обусловленные появлением качественно новых идей, приборов и методов измерений. Наглядный пример тому – оптическая спектроскопия, которая с появлением лазерных источников света значительно преобразилась. Среди новых направлений особое место занимает статистический и спектральный анализ световых полей с помощью фотодетекторов – спектроскопия оптического смешения. Экспериментальные методы спектроскопии оптического смешения, в частности исследования по статистике фотоотчётов, вызвали перед экспериментаторами определенные требования к эффективности фотодетекторов. Для развития этих направлений, в частности для оптимизации параметров источников и выбора оптических элементов, необходимы качественные количественные (абсолютные) измерения характеристик излучения. Однако проведение таких измерений в ВУФ диапазоне спектра является достаточно сложной задачей. Дело в том, что в этом диапазоне спектра все вещества обладают большим и сильно изменяющимся в зависимости от длины волны поглощением. Поэтому все детекторы излучения требуют независимой калибровки по эталонному источнику во всем диапазоне длин волн, так как их чувствительность зависит от свойств и чистоты поверхности, которая поглощает падающее излучение. Специфика оптических и фотоэлектрических измерений налагает определенные требования к источникам света. Во-первых, они должны обладать одинаковой яркостью по всей площади поверхности излучения светового потока. Во-вторых, поток лучевой энергии должен быть стабильным во времени и обладать столь малыми флуктуациями, чтобы в рамках ошибок эксперимента они не влияли на результаты самого эксперимента. В-третьих, интенсивность потока света, протекающего через площадь поверхности входной щели монохроматора, должна быть величиной постоянной. Кроме этого, необходимо знать интенсивность. В статье рассматриваются методы и способы получения эффективных фотодетекторов с помощью фотоэмиссии.

**Ключевые слова:** фотоэмиссия, квантовый выход, распределение электронов по энергиям, спектральный анализ, работа выхода, электронное сродство, загиб зон, полупроводники, полупроводниковый фотодетектор.

**Abstract.** It is known that from time to time established sections of science experience periods of abrupt development caused by the emergence of qualitatively new ideas, devices and measurement methods. A clear example of this is optical spectroscopy, which has significantly changed with the advent of laser light sources. Among the new areas, a special place is occupied by statistical and spectral analysis of light fields using photodetectors - optical mixing spectroscopy. Experimental methods of optical mixing spectroscopy, in particular studies on the statistics of photo reports, have caused experimenters to have certain requirements for the efficiency of photodetectors. To develop these areas, in particular to optimize the parameters of sources and select optical elements, high-quality quantitative (absolute) measurements of radiation characteristics are necessary. However, conducting such measurements in the VUV range of the spectrum is a rather complex task. The fact is that in this range of the spectrum, all substances have a large and strongly changing, depending on the wavelength, absorption. Therefore, all radiation detectors require independent calibration using a reference source over the entire wavelength range, since their sensitivity depends on the properties and purity of the surface that absorbs the incident radiation. The specifics of optical and photoelectric measurements impose certain requirements on light sources. First, they must have the same brightness over the entire surface area of the light flux radiation. Second, the beam energy flux must be stable over time and have such small fluctuations that, within the limits of experimental errors, they do not affect the results of the experiment itself. Third, the intensity of the light flux flowing through the surface

area of the monochromator entrance slit must be a constant value. In addition, it is necessary to know the intensity. This paper discusses methods and techniques for obtaining effective photodetectors using photoemission.

**Key words:** photoemission, quantum yield, electron energy distribution, spectral analysis, work function, electron affinity, band bending, semiconductors, semiconductor photodetector.

**Введение.** При большой плотности поверхностных состояний на свободной поверхности полупроводника происходит изменение энергетического спектра электронов вследствие загиба зон. Загиб зон обусловлен наличием двойного электрического слоя вблизи поверхности, который образован зарядами в поверхностных состояниях и пространственным зарядом противоположного знака, распространяющимися вглубь кристалла.

**Материалы и методы.** Провести исследования влияния воздействий как, например, дополнительного инфракрасного излучения (подсветки), на фотоэмиссию из арсенида галлия GaAs.

Глубина распространения двойного слоя определяется степенью легирования полупроводника. Наличие двойного слоя обуславливает увеличение или уменьшение потенциальной энергии электронов на поверхности на величину  $\varphi_0$  (рис.1).

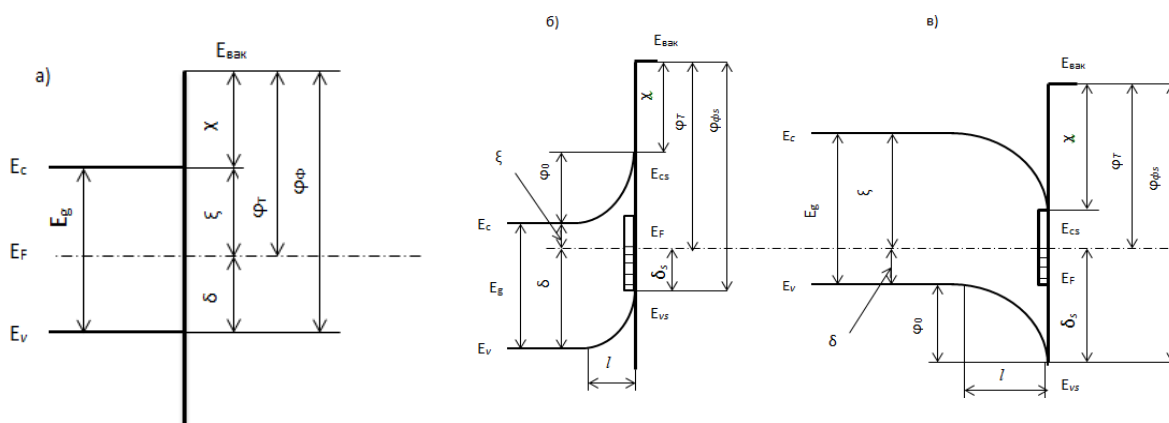


Рис. 1. Схема энергетических спектров поверхности полупроводника:

а – собственный полупроводник с малой плотностью поверхностных состояний; б – электронный полупроводник; в – дырочный полупроводник; б и в – для случая большой плотности поверхностных состояний

Положение уровня Ферми в объеме зависит от степени легирования, в то время как его положение относительно края валентной зоны  $E_v$  и зоны проводимости  $E_c$  на поверхности полностью определяется плотностью поверхностных состояний. Таким образом, происходит стабилизация уровня Ферми на поверхности.

Вследствие стабилизации уровня Ферми на поверхности термоэлектронная работа выхода  $\varphi_T$  существенно зависит от загиба зон. Она определяется как энергия (рис. 1, а), которую нужно сообщить электрону, чтобы перевести его с уровня Ферми в вакуум:

$$\varphi_m = E_{\text{вак}} - E_F = \chi + (E_C + E_F) = \chi + \zeta. \quad (1)$$

Работа выхода  $\varphi_T$  может быть определена (рис. 1, б – для полупроводника n-типа; рис. 1, в – для полупроводника p-типа) фотоэмиссионным методом.

Для этого необходимо произвести фотоэмиссионные измерения металла и полупроводника в одном и том же приборе и при одних и тех же вакуумных условиях.

Электронное сродство не зависит от загиба зон:

$$\chi = (E_{\text{вак}} - E_C)_s. \quad (2)$$

Фотоэлектронная работа выхода для возбужденных из валентной зоны у самой поверхности электронов

$$\varphi_{fs} = (E_{\text{вак}} - E_v)_s \quad (3)$$

также не зависит от загиба зон. Для электронов, возбужденных из глубины полупроводника, фотоэлектронная работа выхода зависит от загиба зон и определяется как величиной загиба зон, так и глубиной выхода фотоэлектронов.

Поверхностный барьер на поверхности очень сильно зависит от состояния поверхности и от того, каким способом она приготовлена. Фишером [1] был предложен метод определения загиба зон  $\varphi_0$  и электронного сродства  $\chi$  по анализу

энергетических распределений. Им было показано, что более удобными для изучения поверхностных свойств является полупроводники n-типа проводимости. Как видно из рис. 1, б для полупроводника n-типа зона загнута вверх, и электроны в поверхностных состояниях имеют большую энергию, чем электроны валентной зоны в объеме и валентной зоны на поверхности. При возбуждении монохроматическим светом с энергией  $h\nu$  эмитированные электроны будут разделены на три группы с различными энергиями. Это позволяет с помощью энергетического распределения непосредственно измерять как изменения в загибе зон  $\varphi_0$  так и в изменении электронного сродства  $\Delta\chi$ . В этом случае рассматривают два края в распределении фотоэлектронов по энергиям: низко- и высокоэнергетический (рис. 2).

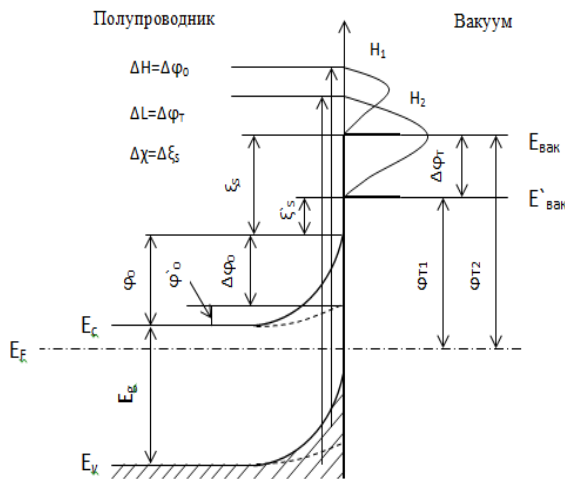


Рис. 2. Энергетический спектр поверхности полупроводника:

$H$  – высокоэнергетический край распределения фотоэлектронов;  $L$  – низкоэнергетический край распределения фотоэлектронов

Высокоэнергетический край  $H$  связан с положением зон относительно уровня Ферми, а низкоэнергетический край  $L$  с работой выхода  $\varphi_T$ . Изменение состояния на поверхности приводит к изменению в загибе зон и работе выхода. Оба эти изменения непосредственно измеряются:

$$\Delta H = -\Delta(E_F E_v)_s = \Delta\varphi_0, \quad \Delta L = \Delta\varphi_T. \quad (4)$$

Параметры энергетической структуры поверхности полупроводника можно определить, если известны фотоэлектронная работа выхода на поверхности  $\varphi_{\phi s} = h\nu_0$  и термоэлектронная работа выхода  $\varphi_m$ .

Тогда положение уровня Ферми на поверхности определяется разностью:

$$(E_F - E_v)_s = h\nu_0 - \varphi_T, \quad (5)$$

а электронное сродство вычисляется по формуле:

$$\chi = (E_{\text{вак}} - E_c)_s = h\nu_0 - E_g. \quad (6)$$

Так как положение уровня Ферми в объеме определим, зная концентрацию носителей тока, то имеющиеся данные позволяют рассчитать всю энергетическую диаграмму поверхности полупроводников.

И в заключение можно отметить, что некоторые сведения можно получить о плотности поверхностных состояний из вычисления полного объемного заряда. Он должен быть равен отрицательному поверхностному заряду  $\sigma$ , который определяется по формуле Шоттки:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\xi \theta \varphi_0 (N_D - N_A)}{2\pi}}, \quad (7)$$

где  $\xi$  – статистическая диэлектрическая постоянная,  $\varphi_0$  – общий загиб зон, который равен  $(E_v - E_{vs})$ ,  $N_D$  – концентрация доноров в полупроводнике,  $N_A$  – концентрация акцепторов.

**Результаты и обсуждения.** Исследования проводились в нанометрическом сверхвысоковакуумном фотоэлектронном спектрометре [8] на поверхности образцов арсенида галлия n-типа, физические параметры которых представлены: концентрации носителей тока соответственно для каждого образца:  $1 \cdot 10^{16}$  (см<sup>-3</sup>),  $1,24 \cdot 10^{17}$  (см<sup>-3</sup>),  $1,31 \cdot 10^{18}$  (см<sup>-3</sup>),  $1,05 \cdot 10^{19}$  (см<sup>-3</sup>); подвижности электронов образцов соответственно: 4350 (см<sup>2</sup>/В·сек), 4000 (см<sup>2</sup>/В·сек), 3200 (см<sup>2</sup>/В·сек), 2100 (см<sup>2</sup>/В·сек); удельные сопротивления:  $1,16 \cdot 10^{-2}$  (Ом·см),  $1,24 \cdot 10^{-2}$  (Ом·см),  $1,47 \cdot 10^{-3}$  (Ом·см),  $1,6 \cdot 10^{-3}$  (Ом·см). Ориентация плоскостей контролировалась рентгеноструктурным методом, и отклонения от указанного направления не превышало 3°. У каждого из четырех (1n ÷ 4n) исследованных образцов плоскости шлифовались и химически полировались. Все исследования были проведены в одинаковых вакуумных [2] условиях сверхвысокого вакуума ( $p = 2 \cdot 10^{-9}$  Торр), полученные результаты для всех образцов можно было сравнить между собой. Измерения проводились абсолютно при одинаковых условиях для всех образцов.

Влияние подсветки на фотоэмиссию из арсенида галлия. Подсветка осуществлялась от лампы накаливания как неразложенным светом, так и светом, прошедшим через светофильтр КС-18. Интенсивность света подсветки изменялась с помощью нейтральных светофильтров. При подсветке измерялись как спектральные распределения квантового выхода, так и энергетические распределения фотоэлектронов [3]. Как показали результаты эксперимента, при

подсветке происходит увеличение квантового выхода фотоэмиссии вплоть до энергии фотонов  $h\nu \leq 4,9$  эВ. При энергии фотонов  $h\nu > 4,9$  эВ увеличение  $Y(h\nu)$  при подсветке не наблюдалось. Эффект подсветки нагляднее проявляется не при рассмотрении спектрального распределения квантового выхода  $Y(h\nu)$ , а при рассмотрении вольтамперных характеристик  $I = f(V)$ , где  $V$  – задерживающий потенциал на коллекторе сферического анализатора.

Так как фототок насыщения  $I_S \sim Y(h\nu)$ , то, производя измерения фототока насыщения, можно выяснить причину указанного увеличения при подсветке.

Эксперимент показал, что при подсветке увеличивается фототок насыщения  $I_S$  и наблюдается смещение вольтамперных характеристик в сторону увеличения потенциала  $V_K$ , т.е. контактная разность потенциалов между

эмиттером и коллектором возрастает. Увеличение фототока насыщения  $\Delta I_S = I_{Sn} - I_S$ , а также величины смещения  $\Delta V_K$  зависят от энергии фотонов  $h\nu$ , возбуждающих фотоэмиссию. С увеличением энергии фотонов  $h\nu$  значения  $\Delta I_S$  и  $\Delta V_K$  уменьшаются. Зависимость относительного увеличения фототока насыщения

$$\xi = \frac{\Delta I_S}{I_S} = \frac{I_{Sn} - I_S}{I_S} \quad \text{при подсветке от энергии}$$

фотонов  $h\nu$  показана на рис. 3, а. Величина относительного увеличения  $\Delta I_S/I_S$  фототока насыщения с увеличением энергии фотонов уменьшается. Максимальное увеличение наблюдается при пороге фотоэмиссии  $h\nu_0$ . Значения относительного увеличения фототока зависело от концентрации носителей тока и было тем больше, чем меньше концентрация, достигая у образца 1n величины  $\sim 75\%$ .

Таблица 1

| $h\nu$<br>№<br>п/п | 4,68 эВ      |              |                        | 4,82 эВ      |              |                        | 4,89 эВ      |              |                        | 4,99 эВ      |              |                        | 5,15 эВ      |              |                        | 5,22 эВ      |              |                        |
|--------------------|--------------|--------------|------------------------|--------------|--------------|------------------------|--------------|--------------|------------------------|--------------|--------------|------------------------|--------------|--------------|------------------------|--------------|--------------|------------------------|
|                    | $V_K$<br>(В) | $V_0$<br>(В) | $\varphi_\phi$<br>(эВ) | $V_K$<br>(В) | $V_0$<br>(В) | $\varphi_\phi$<br>(эВ) | $V_K$<br>(В) | $V_0$<br>(В) | $\varphi_\phi$<br>(эВ) | $V_K$<br>(В) | $V_0$<br>(В) | $\varphi_\phi$<br>(эВ) | $V_K$<br>(В) | $V_0$<br>(В) | $\varphi_\phi$<br>(эВ) | $V_K$<br>(В) | $V_0$<br>(В) | $\varphi_\phi$<br>(эВ) |
| 1n                 | 0,37         | 0,1          | 4,21                   | 0,37         | 0,22         | 4,23                   | 0,37         | 0,27         | 4,25                   | 0,37         | 0,35         | 4,27                   | 0,37         | 0,51         | 4,28                   | 0,37         | 0,55         | 4,30                   |
| 2n                 | 0,40         | 0,1          | 4,18                   | 0,40         | 0,22         | 4,220                  | 0,40         | 0,28         | 4,21                   | 0,40         | 0,36         | 4,23                   | 0,40         | 0,51         | 4,25                   | 0,40         | 0,56         | 4,26                   |
| 3n                 | 0,42         | 0,1          | 4,16                   | 0,42         | 0,22         | 4,18                   | 0,42         | 0,28         | 4,19                   | 0,42         | 0,37         | 4,20                   | 0,42         | 0,50         | 4,24                   | 0,42         | 0,55         | 4,25                   |
| 4n                 | 0,45         | 0,1          | 4,13                   | 0,45         | 0,22         | 4,15                   | 0,45         | 0,27         | 4,17                   | 0,45         | 0,36         | 4,18                   | 0,45         | 0,50         | 4,21                   | 0,45         | 0,56         | 4,22                   |

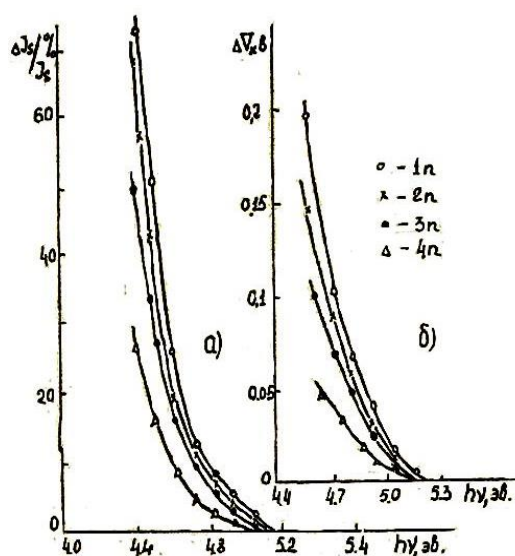


Рис. 3. а – Зависимость относительного увеличения фототока насыщения от энергии фотонов, вызывающих фотоэмиссию; б – зависимость смещения потенциала насыщения от энергии фотонов

Такое значительное изменение фототока указывает на возможность его модуляции подсветкой, что может найти практическое применение в работе фотокатодов при изучении световых полей.

Зависимость смещения вольтамперных характеристик при подсветке  $\Delta V_K$  от энергии фотонов  $h\nu$  для изученных образцов представлена на рис. 3, б. Как видно, величина  $\Delta V_K$  для образца 4n была небольшой, и для определения ее значения проводились многократные повторные измерения. Но ход зависимости  $\Delta V_K$  у всех образцов от энергии фотонов имел одинаковый характер.

Смещение потенциала  $\Delta V_K$  обусловлено увеличением контактной разности потенциалов. Увеличение последней указывает на уменьшение термоэлектронной работы выхода  $\varphi_T$ . Изменение термоэлектронной работы выхода  $\varphi_T$  может быть вызвано либо изменением электронного сродства  $\chi$  на поверхности GaAs, либо изменением загиба зон  $\Delta\varphi_0$ , либо изменением одной величины и другой одновременно.

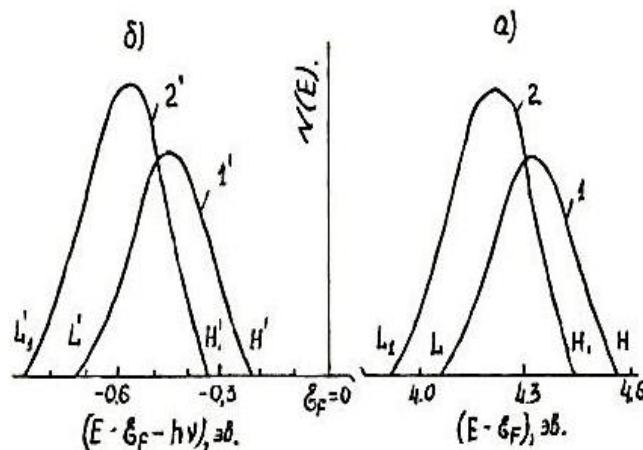


Рис. 4. Энергетические распределения фотоэлектронов для образца 1n при  $h\nu = 4,68\text{эВ}$ ; а – распределения фотоэлектронов, вышедших в вакуум; б – смещенные энергетические распределения на величину энергии фотона  $h\nu$ . Кривые : 1 – измеренные без подсветки; 2 – с подсветкой

Для выяснения причины уменьшения термоэлектронной работы выхода  $\phi_T$  рассмотрим энергетические распределения фотоэлектронов  $N(E)$  при подсветке и без нее (рис. 4). Видно, что при подсветке смещаются как высокоэнергетические края распределения  $H'_1$ , так и низкоэнергетические края  $L'_1$  и величины смещения одинаковы, т.е.  $\Delta H'_1 = \Delta L'_1$  и составляет  $0,1\text{эВ}$ . Как отмечено выше (рис. 2), величина  $\Delta H$  соответствует изменению загиба зон  $\Delta\phi_0$ , а величина  $\Delta L$  – изменению термоэлектронной работы выхода  $\Delta\phi_T$ . Таким образом, в нашем случае изменение работы выхода обусловлено только изменением загиба зон. Значит, при воздействии подсветки на фотоэмиссию из полупроводников происходит изменение термоэлектронной работы выхода только вследствие изменения загиба зон.

Изменение загиба зон не вызывает изменения фотоэлектронной работы выхода  $\phi_F$  для электронов, возбуждаемых у самой поверхности (рис. 2), но уменьшает ее для фотоэлектронов, возбуждаемых в объеме. Максимальное уменьшение  $\phi_F$  будет для электронов, возбуждаемых на глубине, сравнимой с областью изменения загиба зон.

Объемный характер фотоэмиссии объясняет наблюдаемую при подсветке зависимость увеличения фототока насыщения  $I_S$  и смещения потенциала задержки фотоэлектронов  $V_K$  от энергии  $h\nu$  возбуждающих фотоэмиссию фотонов. Эти зависимости обусловлены коэффициентом оптического поглощения, который увеличивается с увеличением энергии фотонов. Чем больше коэффициент оптического поглощения  $\alpha$ , тем меньше глубина  $l$ , с которой происходит возбуждение фотоэлектронов ( $l \sim 1/\alpha$ ), и тем меньше увеличение фототока насыщения при подсветке.

**Выводы.** В статье мы выяснили, что при воздействии подсветки на фотоэмиссию из GaAs происходит увеличение квантового выхода вплоть до энергии фотонов  $h\nu \leq 4,9\text{эВ}$ . Экспериментально увидели, что при подсветке увеличится фототок насыщения и наблюдается смещение вольтамперных характеристик в сторону увеличения потенциала. Также мы выяснили, что при воздействии подсветки на фотоэмиссию из полупроводников происходит изменение термоэлектронной работы выхода только вследствие изменения загиба зон.

#### Список источников

1. T.E. Fischer Determination of Semiconductor Surface properties by means of photoelectric emission // Fischer T. E. / North-Holland Publishing Co., Emgsterdam, Surface Science, 1989, 13 – P. 30 – 40.
2. Волошин, М.А. Сверхвысоковакуумный фотоэлектронный спектрометр для исследования поверхности твердых тел // М.А. Волошин, С.О. Удовиченко, И.Д. Черникова, Н.Г. Черников // Праці Луганського відділення Міжнародної Академії інформатизації. 2011 – №2 (24). С.14-19.
3. Бова, А.Р. Влияние структурных изменений на поверхности на энергетический спектр электронов в арсениде галлия // А.Р. Бова, М.А. Волошин, О.Б. Латыш, И.Д. Черникова, Н.Г. Черников / Вісник СХУ ім. В. Даля. 2010. – №12 (154), ч.2. – С. 10-15.

#### References

1. T. E. Fischer Determination of Semiconductor Surface properties by means of photoelectric emission // Fischer T. E. / North-Holland Publishing Co., Emgsterdam, Surface Science, 1989, 13 – p. 30 – 40.
2. Волошин, М.А. Сверхвысоковакуумный фотоэлектронный спектрометр для исследования поверхности твердых тел // М.А. Волошин, С.О. Удовиченко, И.Д. Черникова, Н.Г. Черников /

Праці Луганського відділення Міжнародної Академії інформатизації, 2011 – №2 (24). С.14-19.

3. Бова, А.Р. Влияние структурных изменений на поверхности на энергетический спектр электронов в арсениде галлия // А.Р. Бова, М.А.

Волошин, О.Б. Латыш, И.Д. Черникова, Н.Г. Черников / Вісник СНУ ім. В. Даля. 2010. – №12 (154), ч.2. – С. 10-15

*Статья поступила в редакцию 19.11.2024*

#### Информация об авторах

**Черников Николай Григорьевич**, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры материаловедения института технологий и инженерной механики Луганского государственного университета имени Владимира Даля, г. Луганск.

**E-mail:** chernikov\_n\_g1941@mail.ru

**Черникова Ирина Демьяновна**, старший преподаватель кафедры вентиляции, теплогаз- и водоснабжения института строительства, архитектуры и жилищно-коммунального хозяйства Луганского государственного университета имени Владимира Даля, г. Луганск.

*SPIN-код: 1793-5386, AuthorID: 1236927*

**E-mail:** chernikova\_i\_d@mail.ru

**Черникова Елена Николаевна**, студентка кафедры технологических машин и оборудования факультета природопользования и инженерной экологии ФГБУ ВО «Тверской государственный технический университет»

**E-mail:** Chernikovahm03@mail.ru

#### Information about the authors

**Chernikov Nikolai Grigorievich**, PhD in Physics and Mathematics, Department of Materials Science, Institute of Technology and Engineering Mechanics, Lugansk State named after Vladimir Dahl, Lugansk.

**E-mail:** chernikov\_n\_g1941@mail.ru

**Chernikova Irina Demyanovna**, Senior Lecturer of Ventilation, Heat, Gas and Water Supply Department Construction, Architecture and Housing and Communal Services of the of Lugansk State University named after Vladimir Dahl/

*SPIN-код: 1793-5386, AuthorID: 1236927*

**E-mail:** chernikova\_i\_d@mail.ru

**Chernikova Elena Nikolaevna**, student of the department of technological machines and equipment, faculty of Nature Management and Environmental Engineering TvSTU "Tver State Technical University"

**E-mail:** Chernikovahm03@mail.ru

---

#### Для цитирования:

Черников Н.Г., Черникова И.Д., Черникова Е.Н. Влияние на фотоэмиссию из арсенида галлия дополнительного излучения в инфракрасной области спектра // Вестник Луганского государственного университета имени Владимира Даля. – 2024. – № 12(90). – С. 98-103.

#### For citation:

Chernikov N.G., Chernikova I.D., Chernikova E.N. Influence of additional infrared radiation on photoemission from gallium arsenide // Vestnik of Lugansk State University named after Vladimir Dahl. – 2024. – № 12(90). – P. 98-103.

---

УДК 697

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ СИСТЕМ ПРИМЕНЕНИЕМ MPC-РЕГУЛЯТОРА

Черникова И. Д., Андрийчук В. Н., Андрийчук Н. Д.

### IMPROVING OF VENTILATION SYSTEMS USING MPC CONTROLLER

Chernikova I. D., Andriichuk V. N., Andriichuk N. D.

**Аннотация.** Работа посвящена вопросу совершенствования процессов регулирования вентиляционных систем VAV применением MPC-регулятора. Для проведения исследований рассмотрены особенности проектирования вентиляционных систем VAV и принципы построения систем управления на основе прогнозирующих моделей с MPC-регулятором. Отмечено, что данные системы работают в режиме переменного количества подаваемого воздуха, а изменения тепловой нагрузки помещений или зон компенсируются путем изменения фактического количества приточного и вытяжного воздуха при его постоянной температуре, поступающего из центральной приточной установки. Изложен принцип адаптивного прогнозирующего управления с использованием MPC-регулятора, структура регулятора и подход к выбору оптимальных значений управляющего сигнала. Исследование процессов регулирования вентиляционных систем VAV использованием MPC-регулятора проведено на примере приточной вентиляционной системы учебной аудитории в осенне-весенний период, которая поддерживает заданный температурный режим в помещении путем изменения объема подаваемого нагретого воздуха. Для моделирования системы в среде Simulink пакета прикладных программ MATLAB разработана блок-диаграмма, для синтеза MPC-регулятора использован набор программных инструментов Model Predictive Control Toolbox. Проведено исследование переходных процессов в вентиляционной системе VAV без регулятора, с ПИД-регулятором и MPC-регулятором. Сравнение результатов показало, что использование MPC-регулятора позволяет усовершенствовать процессы регулирования за счет увеличения быстродействия и уменьшения перерегулирования, что повышает качество регулирования параметров микроклимата и улучшает эксплуатационные характеристики вентиляционных систем.

**Ключевые слова:** вентиляционная система VAV, прогнозирующая модель, MPC-регулятор, горизонт прогнозирования, горизонт управления, переходной процесс.

**Abstract.** The paper is devoted to the issue of improving the regulation processes of VAV ventilation systems using MPC-controller. To conduct research, the design features of VAV ventilation systems and the principles of control systems based on predictive models with MPC controller are considered. It is noted that these systems operate in the mode of variable amount of supplied air, and changes in the heat load of rooms or zones are compensated by changing the actual amount of supply and exhaust air at its constant temperature coming from the central supply unit. The principle of adaptive predictive control using MPC controller, controller structure and approach to choosing optimal values of the control signal are described. The study of regulation processes of VAV ventilation systems using MPC controller was carried out on example of the supply ventilation system of classroom in the autumn-spring period, which maintains the given temperature regime in the room by changing volume of supplied heated air. To simulate system in the Simulink environment of the MATLAB application package, the block diagram was developed, and Model Predictive Control Toolbox was used to synthesize MPC controller. The study of transient processes in VAV ventilation system without controller, with PID controller and MPC controller was carried out. The results comparison showed that using MPC controller makes it possible to improve regulation processes by increasing the speed of response and reducing overshoot, which improves the regulation quality of microclimate parameters and energy efficiency of ventilation systems.

**Key words:** VAV ventilation system, predictive model, MPC controller, prediction horizon, control horizon, transient process.

**Введение.** Системы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха (ОВКВ), также HVAC (акроним от английского. Heating,

Ventilation and Air Conditioning), являются одной из наиболее важных составляющих проектирования и разработки промышленных и

административных зданий и жилых помещений [1-4]. Системы ОВКВ с помощью подачи наружного воздуха поддерживают в них безопасные и комфортные условия по температуре, влажности, скорости движения воздуха и чистоте воздушной среды.

Для эффективного управления системами вентиляции необходимо вести оперативный контроль параметров микроклимата и состояния параметров исполнительных механизмов, а также формировать разные режимы работы оборудования в соответствии с внешними и внутренними факторами (температура и влажность воздуха, загруженность помещений, концентрация вредных веществ) [5-8]. Чаще всего такое задание возникает в переходной период, когда диапазон изменения температуры варьируется в больших границах.

**Актуальность задачи.** Доля затрат на проектирование и установку вентиляционных систем может составлять 10-15% от стоимости сооружений, а эксплуатационные расходы в ряде случаев достигают половины затрат от общих. Поэтому при разработке вентиляционных систем особое внимание уделяется их эксплуатационным характеристикам и, прежде всего, энергетической эффективности при соблюдении требований точности контролируемых параметров микроклимата [9-11].

В этой связи в настоящее время для поддержания тепловых режимов в зданиях и сооружениях получили распространение вентиляционные системы VAV с переменным расходом воздуха (Variable Air Volume – переменный объем воздуха) [12-14]. Такие системы работают в режиме переменного количества подаваемого воздуха, а изменения тепловой нагрузки помещений или зон компенсируются путем изменения фактического количества приточного и вытяжного воздуха при его постоянной температуре, поступающего от центральной приточной установки. Поэтому вентиляционная система VAV работает при общем расходе воздуха меньше, чем необходимо в случае суммарной максимальной тепловой нагрузки для каждого отдельного помещения или зоны. Это обеспечивает уменьшение энергетических затрат при заданных параметрах воздуха внутри помещений. Снижение потребления энергии может достигать 25% и более в сравнении с вентиляционными системами, работающими при постоянном расходе воздуха [15-17].

Для улучшения эксплуатационных характеристик вентиляционных систем важным является правильное построение автоматизированных систем управления

микроклиматом. Развитие микропроцессорной техники позволяет в режиме реального времени использовать для решения задач управления сложными нелинейными объектами подходы, основанные на математических методах оптимизации, одним из которых является управление на основе прогнозирующих моделей (Model Predictive Control – MPC) с MPC-регулятором [18-20]. Идея адаптивного прогнозирующего управления заключается в нахождении оптимальной последовательности управляющих воздействий, которые устанавливаются MPC-регулятором и обеспечивают наилучшую траекторию изменения выходного параметра на определенном горизонте прогнозирования.

**Целью работы** является совершенствование процессов регулирования вентиляционных систем VAV использованием MPC-регулятора.

**Изложение основного материала.** Для проведения исследований рассмотрим особенности построения вентиляционных систем VAV, а также принципы управления на основе MPC-подхода.

Главным элементом вентиляционной системы VAV является терминал VAV (рис. 1), который также называют регулятором VAV или клапаном VAV. Назначением терминала VAV является поддержание заданного расхода приточного или вытяжного воздуха, необходимая величина которого определяется значением внешнего управляющего сигнала (воздействия) 1 (рис. 2). Этот сигнал может поступать на терминал VAV от установленных в помещениях здания температурных регуляторов, датчиков CO<sub>2</sub>, датчиков движения, реле времени и других элементов, а также от устройства управления как части системы автоматизированного управления микроклиматом в здании или отдельном помещении. На измерительных элементах терминала VAV (трубка Пито и пьезометр), расположенных в вентиляционном канале, возникает перепад давлений, величина которого зависит от расхода (скорости) воздуха и устанавливается измерительным преобразователем 2. По значению измеренного перепада давлений и площади поперечного сечения канала определяется фактический расход воздуха, величина которого сравнивается с заданным. Исходя из рассогласования, регулятором 3 формируется сигнал для управления электроприводом 4, который изменяет положение дроссельной заслонки 5, что приводит к изменению аэродинамического сопротивления терминала и, следовательно, изменению фактического расхода воздуха.



Рис. 1. Терминалы VAV круглого и прямоугольного сечения

Для наглядности реализации MPC-подхода рассмотрим вентиляционную систему как одномерную систему, т.е. рассматриваем ее как объект управления (ОУ) с одной выходной величиной  $y$ . Также считаем, что система автоматического управления (САУ) воспринимает одно задающее воздействие  $g$  и

одно возмущающее воздействие  $f$ . Тогда САУ с MPC-регулятором можно представить структурной схемой, показанной на рис. 3.

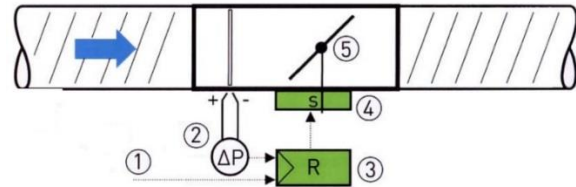


Рис. 2. Конструктивные элементы терминала VAV: 1 – внешний управляющий сигнал (воздействие); 2 – преобразователь перепада давлений; 3 – регулятор; 4 – электропривод дроссельной заслонки; 5 – дроссельная заслонка

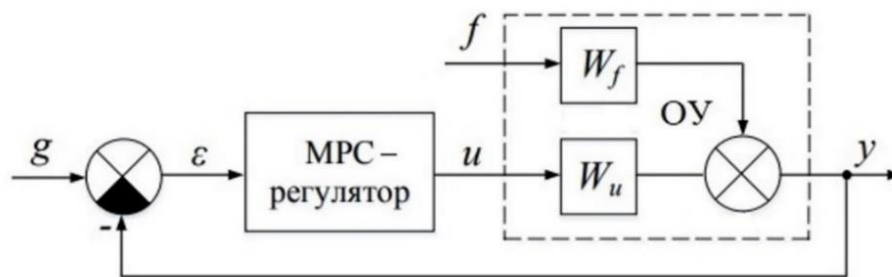


Рис. 3. Структурная схема САУ с MPC-регулятором:

$g$  – задающее воздействие (уставка);  $f$  – возмущающее воздействие (возмущение);  $u$  – управляющее воздействие (сигнал управления);  $W_u$  – передаточная функция ОУ по сигналу управления;  $W_f$  – передаточная функция ОУ по возмущению;  $y$  – выходная (регулируемая) величина (переменная);  $\varepsilon$  – ошибка управления,  $\varepsilon = g - y$

Рассмотрим принципы адаптивного прогнозирующего управления на базе MPC-регулятора. Пусть имеются управляющее воздействие (сигнал)  $u(t)$  на объект управления и выходная регулируемая переменная  $y(t)$ . Задающее воздействие (сигнал)  $g(t)$  является желаемой величиной (зависимостью) изменения регулируемой переменной. Система рассматривается в дискретные моменты времени, т.е. только в моменты времени  $t=k\Delta T$ , где  $\Delta T$  – период квантования, а  $k$  – целое число.

Главной особенностью адаптивного прогнозирующего управления является наличие математической модели объекта управления, которая достаточно точно описывает его поведение. Наличие адекватной математической модели объекта управления позволяет прогнозировать значения регулируемой переменной на определенное число шагов вперед. На рис. 4 значения регулируемой величины  $y(t)$ , предсказанные в момент времени  $t$ , обозначены через  $\hat{y}(t)$ . Горизонт предсказания строится на определенное число шагов  $N_p$ .

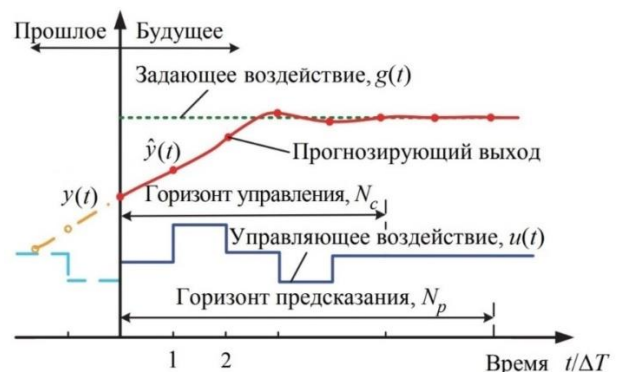


Рис. 4. Адаптивное прогнозирующее управление

Прогнозируемая траектория регулируемой переменной будет зависеть от будущих значений управляющего воздействия  $u(t)$ , которые формируются с помощью MPC-регулятора. На рис. 5 показана структурная схема MPC-регулятора. В состав регулятора входит прогнозирующая модель объекта управления (ОУ) и оптимизатор.

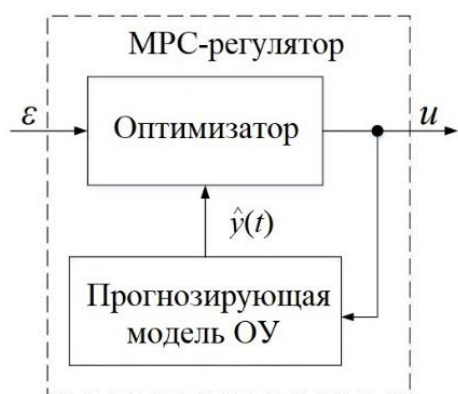


Рис. 5. Структурная схема MPC-регулятора

Суть адаптивного прогнозирующего управления состоит в определении MPC-регулятором последовательности значений управляющего сигнала  $u(t)$ , которая позволит обеспечить наилучшую прогнозируемую траекторию  $\hat{y}(t)$  для регулируемой переменной  $y(t)$ . Длина последовательности  $N_c$  рассчитываемых управляющих воздействий  $u(t)$  является фиксированной величиной и называется горизонтом управления.

Необходимая последовательность значений управляющего воздействия устанавливается решением задачи оптимизации. Выбор наилучшей траектории регулируемой переменной определяется показателем качества регулирования, которым принимают квадрат рассогласования между прогнозируемой выходной переменной  $\hat{y}(t)$  и задающим воздействием (желаемой траекторией)  $g(t)$ . Также оценивается изменение величины управляющего сигнала. Таким образом, для выбора оптимальных значений сигнала управления  $u(t)$  MPC-регулятор стремится минимизировать следующий функционал

$$J = Q \sum_{i=k}^{k+N_p} (y(i) - g(i))^2 + R \sum_{i=k}^{k+N_c} (u(i) - u(k))^2, \quad (1)$$

где  $Q$  и  $R$  — весовые коэффициенты (для безразмерных переменных обычно принимают одинаковыми);  $k=1, 2, 3, \dots$  — целое число, соответствующее текущему моменту времени;  $N_p$  — число шагов, на которые строится прогноз поведения регулируемой переменной  $y(t)$  (горизонт предсказания);  $N_c$  — длина последовательности будущих значений управляющего сигнала  $u(t)$  (горизонт управления).

После подачи на объект управления вычисленного оптимального управляющего воздействия  $u(t)$  на следующем шаге вся процедура повторяется заново с учетом вновь поступившей информации.

Для реализации адаптивного прогнозирующего управления в пакете прикладных программ MATLAB имеется набор программных инструментов Model Predictive Control Toolbox для проектирования и моделирования MPC-регуляторов.

Следует отметить, что вышеизложенную методику управления вентиляционными системами на основе MPC-подхода можно обобщить на многомерные САУ и системы с несколькими задающими и возмущающими воздействиями.

**Результаты исследований/ Исследование** адаптивного прогнозирующего управления проведено на примере приточной вентиляционной системы VAV учебной аудитории (рис. 6) в осенне-весенний период, которая поддерживает заданный температурный режим  $T(t)$  в помещении путем изменения объема подаваемого нагретого воздуха.

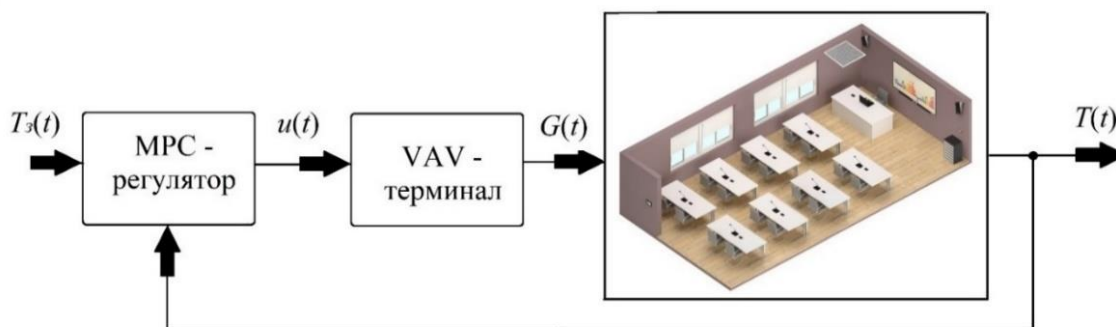


Рис. 6. Приточная вентиляционная система VAV учебной аудитории

В рассматриваемой вентиляционной системе VAV изменение тепловой нагрузки помещения компенсируется изменением количества приточного воздуха  $G(t)$ , поступающего от центральной приточной вентиляционной установки при его постоянной температуре. Исследование вентиляционной системы VAV осуществлялось по задающему воздействию – заданной температуре в помещении  $T_z(t)$ . Предварительно на основе экспериментальных исследований выполнена параметрическая идентификация вентиляционной системы как объекта управления температурой воздуха в помещении  $T(t)$  по поступающему в него массовому расходу нагретого воздуха  $G(t)$ . Для идентификации математической модели были использованы возможности блока программных инструментов System Identification Toolbox пакета прикладных

программ MATLAB. Получена следующая передаточная функция для температуры в помещении по массовому расходу воздуха для безразмерных переменных

$$W_{TG}(s) = \frac{e^{-54s}}{78s^2 + 320s + 1}, \quad (2)$$

где  $s$  – переменная Лапласа.

Передаточная функция (1) для безразмерных отклонений переменных рассматривалась как произведение двух типовых звеньев: апериодического звена 2-го порядка и звена запаздывания со временем  $\tau=54$  с.

Для моделирования вентиляционной системы VAV в среде Simulink пакета прикладных программ MATLAB разработана блок-диаграмма, представленная на рис. 7.

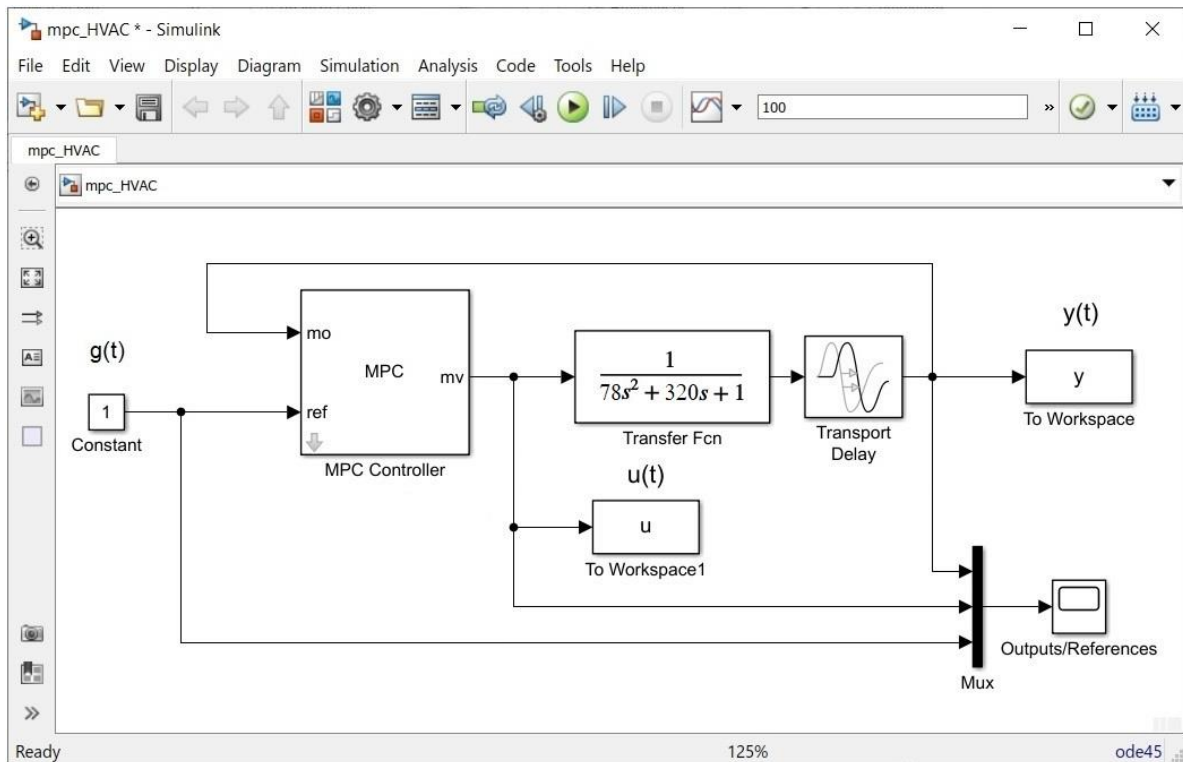


Рис. 7. Блок-диаграмма вентиляционной системы в Simulink

Для синтеза MPC-регулятора использован набор программных инструментов Model Predictive Control Toolbox. Для этого предварительно в командной строке MATLAB была задана передаточная функция объекта управления

```
>> plant=tf(1,[78 320 1],'IODelay',54);
```

Далее следующими командами соответственно спроектирован MPC-регулятор и заданы его ограничения

```
>> mpcobj=mpc(plant, 10, 100, 30);
```

```
>> mpcobj.MV=struct('Min',0,'Max',2);
```

Период квантования задан  $\Delta T = 10$  с, горизонт прогнозирования  $N_p = 100$  шагов,

горизонт управления  $N_c=30$  шагов. Минимальное значение управляющего сигнала  $u(t)$  равно 0, что соответствует полностью закрытому терминалу VAV, а максимальное значение равно 2, что соответствует максимальному количеству воздуха на выходе терминала VAV, которое в 2 раза превышает среднее значение расхода приточного нагретого воздуха  $G(t)$ , поступающего в помещение от центральной вентиляционной системы.

Результаты расчета переходных процессов в вентиляционной системе VAV представлены на рис. 8. Здесь сопоставлены переходные процессы в системе без регулятора, с ПИД-регулятором, оптимизированным по быстродействию, и MPC-регулятором.

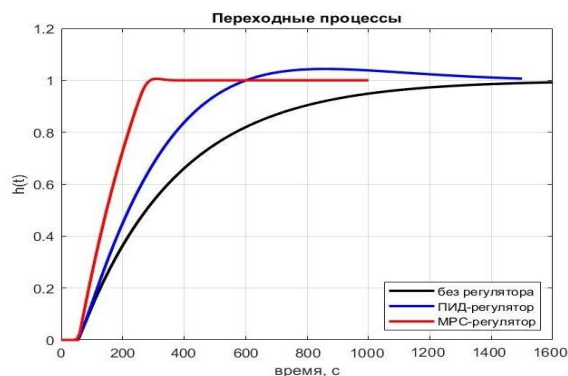


Рис. 8. Переходные процессы в вентиляционной системе

Сравнение результатов показало, что использование адаптивного прогнозирующего управления позволяет усовершенствовать процессы регулирования вентиляционной системы VAV за счет увеличения быстродействия и уменьшения перерегулирования, что повышает точность контролируемых параметров микроклимата в помещении и энергетическую эффективность системы. Длительность переходного процесса в системе без регулятора составила 1008 с (16,8 мин), с ПИД-регулятором – 512 с (8,5 мин), с MPC-регулятором – 262 с (4,2 мин). При использовании MPC-регулятора практически отсутствует перерегулирование системы, что не приводит к перегревам, когда температура в помещении поднимается выше заданной, а это исключает дополнительные потери тепла.

Касаясь вопроса энергетической эффективности, отметим, что вентиляционная система VAV работает при общем значении

расхода воздуха меньшим, чем необходимо при суммарной максимальной тепловой нагрузке. Это обеспечивает снижение потребляемой энергии при сохранении заданного качества воздуха внутри помещения.

Следует обратить внимание, что адаптивное прогнозирующее управление имеет недостатки, связанные с необходимостью составления точных и адекватных математических моделей объекта управления. Не всегда можно составить адекватную математическую модель вентиляционной системы и чем сложнее математическая модель объекта управления, тем больше вычислительных мощностей необходимо для реализации MPC-регулятора. Адаптивное прогнозирующее управление требует существенных вычислительных ресурсов при управлении вентиляционными системами с несколькими регулируемыми параметрами и возмущениями, поскольку блок оптимизации и прогнозирующая модель должны работать синхронно с управляемым процессом, а их практически нельзя разделить на две независимые подзадачи. Однако, современное развитие микропроцессорной техники позволяет обеспечить программируемым контроллерам быстродействие и объем памяти, необходимые для реализации алгоритмов адаптивного прогнозирующего управления на основе MPC-регуляторов в режиме реального времени.

Проведенные исследования убедительно показывают, что использование MPC-регулятора позволяет усовершенствовать процессы регулирования в вентиляционных системах VAV за счет увеличения быстродействия и уменьшения перерегулирования, что повышает качество регулирования параметров микроклимата и улучшает эксплуатационные характеристики систем.

**Выводы.** Таким образом, в работе рассмотрен вопрос совершенствования процессов регулирования вентиляционных систем VAV применением MPC-регулятора. Для проведения исследований изложены особенности построения вентиляционных систем VAV и принципы построения систем управления на основе прогнозирующих моделей с MPC-регулятором.

Рассматриваемые системы вентиляции работают в режиме переменного количества подаваемого воздуха, а изменения тепловой

нагрузки помещений или зон компенсируются путем изменения фактического количества приточного и вытяжного воздуха при его постоянной температуре, поступающего из центральной приточной установки. Изложен принцип адаптивного прогнозирующего управления с использованием МРС-регулятора, структура регулятора и подход к выбору оптимальных значений управляющего сигнала.

Исследование процессов регулирования вентиляционных систем VAV использованием МРС-регулятора проведено на примере приточной вентиляционной системы учебной аудитории в осенне-весенний период, которая поддерживает заданный температурный режим в помещении путем изменения объема подаваемого нагретого воздуха. Для моделирования системы в среде Simulink пакета прикладных программ MATLAB разработана блок-диаграмма, для синтеза МРС-регулятора использован набор программных инструментов Model Predictive Control Toolbox.

Проведено исследование переходных процессов в вентиляционной системе VAV без регулятора, с ПИД-регулятором и МРС-регулятором. Сравнение результатов показало, что использование МРС-регулятора позволяет усовершенствовать процессы регулирования за счет увеличения быстродействия и уменьшения перерегулирования, что повышает качество регулирования параметров микроклимата и улучшает эксплуатационные характеристики вентиляционных систем.

#### Список источников

1. Посохин, В.Н. Вентиляция / В.Н. Посохин, Р.Г. Сафиуллин, В.А. Бройда. – Москва: АСВ, 2020. – 624 с.
2. Системы вентиляции: моделирование, оптимизация / Я.А. Гусенцова, К.Н. Андрийчук, А.А. Коваленко [и др.]. – Луганск: ВНУ им. В. Даля, 2005. – 206 с.
3. Соколов В.И. Аэродинамика газовых потоков в каналах сложных вентиляционных систем. – Луганск: ВГУ, 1999. – 200 с.
4. Инженерные задачи диффузии примеси в потоке / В.И. Соколов, А.А. Коваленко, Г.С. Калюжный [и др.]. – Луганск: ВУГУ, 2000. – 168 с.
5. Системы вентиляции и кондиционирования. Теория и практика / В.А. Ананьев, Л.Н. Балусева, А.Д. Гальперин [и др.]. – Москва: Евроклимат, 2003. – 416 с.
6. 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.
7. Соколов, В.И. Гідравліка / В.И. Соколов, О.С. Кроль, О.В. Єпіфанова. – Северодонецк: ЧНУ ім. В. Даля, 2017. – 160 с.
8. Krol, O. Modeling of Spindle Node Dynamics Using the Spectral Analysis Method / O. Krol, V. Sokolov // Advances in Design Simulation and Manufacturing III. DSMIE 2020. Lecture Notes in Mechanical Engineering. – Cham: Springer, 2020. – Vol. 1. – P. 35-44.
9. Каменев, П.Н. Вентиляция. Учебное пособие / П.Н. Каменев, Е.И. Тертичник. – Москва: АСВ, 2008. – 624 с.
10. Sokolov, V. Diffusion of circular source in the channels of ventilation systems / V. Sokolov // Advances in engineering research and application. ICERA 2018. Lecture notes in networks and systems. – Cham: Springer, 2019. – Vol. 63. – P. 278-283.
11. Sokolov, V. Increasing Efficiency of Ventilation Systems with Vortex Regulation Devices / V. Sokolov // Proceedings of the 8th International Conference on Industrial Engineering. ICIE 2022. Lecture Notes in Mechanical Engineering. – Cham: Springer, 2023. – P. 1012-1022.
12. Судак, В. Системы VAV. Краткое описание / В. Судак, Я. Хендигер. – Краков: SMAY, 2009. – 80 с.
13. Improvement of HVAC systems based on adaptive predictive control / V. Sokolov, O. Krol, V. Andriichuk [et al.] // E3S Web of Conferences. – 2023. – Vol. 420. – 07020.
14. Sokolov, V. Increased measurement accuracy of average velocity for turbulent flows in channels of ventilation systems / V. Sokolov // Proceedings of the 6th international conference on industrial engineering (ICIE 2020). Lecture notes in mechanical engineering. – Cham: Springer, 2021. – Vol. 2. – P. 1182-1190.
15. Стефанов, Е.В. Вентиляция и кондиционирование воздуха / Е.В. Стефанов. – Санкт-Петербург: АВОО СЕВЕРО-ЗАПАД, 2005. – 400 с.
16. Sokolov, V. Criteria Analysis of Diffusion Processes in Channels of Industrial Ventilation Systems / V. Sokolov // Proceedings of the 7th International Conference on Industrial Engineering. ICIE 2021. Lecture Notes in Mechanical Engineering. – Cham: Springer, 2022. – Vol. 2. – P. 725-731.
17. 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.

18. Марьясин, О.Ю. Управление тепловым режимом зданий с использованием прогнозирующих моделей / О.Ю. Марьясин, А.С. Колодкина // Вест. Самар. гос. ун-та. Сер. технические науки. – 2017. – № 1(53). – С. 122-132.

19. Надеждин, И.С. Системы управления нестационарным объектом на основе МРС-регулятора и ПИД-регулятора с нечеткой логикой / И.С. Надеждин, А.Г. Горюнов, Ф. Маненти // Управление большими системами. Анализ и синтез систем управления. – 2018. – Вып. 75. – С. 50-75.

20. Колодин, А.А., Ёлшин В.В. Разработка и исследование регулятора на основе прогнозирующей модели / А.А. Колодин, В.В. Ёлшин // Вест. Самар. гос. ун-та. Сер. технические науки. – 2021. – Т. 29, №1. – С. 36-44.

### References

1. Posokhin, V.N. Ventilation / V.N. Posokhin, R.G. Safiullin, V.A. Broyda. - Moscow: ASV, 2020. - 624 p.

2. Ventilation systems: modeling, optimization / Ya.A. Gusentsova, K.N. Andriychuk, A.A. Kovalenko [et al.]. - Lugansk: V. Dal National University, 2005. - 206 p.

3. Sokolov V.I. Aerodynamics of gas flows in the channels of complex ventilation systems. - Lugansk: VSU, 1999. - 200 p.

4. Engineering problems of impurity diffusion in a flow / V.I. Sokolov, A.A. Kovalenko, G.S. Kalyuzhny [et al.]. – Lugansk: VUGU, 2000. – 168 p.

5. Ventilation and air conditioning systems. Theory and practice / V.A. Ananyev, L.N. Balueva, A.D. Galperin [et al.]. – Moscow: Evroklimat, 2003. – 416 p.

6. 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.

7. Sokolov, V.I. Hydraulics / V.I. Sokolov, O.S. Krol, O.V. Epifanova. – Severodonetsk: SNU im. V. Dal, 2017. – 160 p.

8. Krol, O. Modeling of Spindle Node Dynamics Using the Spectral Analysis Method / O. Krol, V. Sokolov // Advances in Design Simulation and Manufacturing III. DSMIE 2020. Lecture Notes in Mechanical Engineering. – Cham: Springer, 2020. – Vol. 1. – P. 35-44.

9. Kamenev, P. N. Ventilation. Study Guide / P. N. Kamenev, E. I. Ter-tichnik. – Moscow: ASV, 2008. – 624 p.

10. Sokolov, V. Diffusion of circular source in the channels of ventilation systems / V. Sokolov //

Advances in engineering research and application. ICERA 2018. Lecture notes in networks and systems. – Cham: Springer, 2019. – Vol. 63. – P. 278-283.

11. Sokolov, V. Increasing Efficiency of Ventilation Systems with Vortex Regulation Devices / V. Sokolov // Proceedings of the 8th International Conference on Industrial Engineering. ICIE 2022. Lecture Notes in Mechanical Engineering-ing. – Cham: Springer, 2023. – P. 1012-1022.

12. Sudak, V. VAV systems. Brief description / V. Sudak, J. Hendiger. – Krakow: SMAY, 2009. – 80 p.

13. Improvement of HVAC systems based on adaptive predictive control / V. Sokolov, O. Krol, V. Andriichuk [et al.] // E3S Web of Conferences. – 2023. – Vol. 420. – 07020.

14. Sokolov, V. Increased measurement accuracy of average velocity for turbulent flows in channels of ventilation systems / V. Sokolov // Proceedings of the 6th international conference on industrial engineering (ICIE 2020). Lecture notes in mechanical engineering. – Cham: Springer, 2021. – Vol. 2. – P. 1182-1190.

15. Stefanov, E.V. Ventilation and air conditioning / E.V. Stefanov. – St. Petersburg: AVOK SEVERO-ZAPAD, 2005. – 400 p.

16. Sokolov, V. Criteria Analysis of Diffusion Processes in Channels of Industrial Ventilation Systems / V. Sokolov // Proceedings of the 7th International Conference on Industrial Engineering. ICIE 2021. Lecture Notes in Mechanical Engineering. – Cham: Springer, 2022. – Vol. 2. – P. 725-731.

17. 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.

18. Maryasin, O. Yu. Thermal management of buildings using predictive models / O. Yu. Maryasin, A.S. Kolodkina // Vest. Samara state University. Series. technical sciences. – 2017. – No. 1(53). – P. 122-132.

19. Nadezhdin, I.S. Control systems for a non-stationary object based on an MRS controller and a PID controller with fuzzy logic / I.S. Nadezhdin, A.G. Goryunov, F. Manenti // Control of large systems. Analysis and synthesis of control systems. – 2018. – Issue. 75. – P. 50-75.

20. Kolodin, A.A., Yolshin V.V. Development and study of a controller based on a predictive model / A.A. Kolodin, V.V. Yolshin // Vest. Samara state University. Series. technical sciences. – 2021. – Т. 29, No. 1. – P. 36-44.

*Статья поступила в редакцию 22.11.2024*

---

**Информация об авторах**

**Черникова Ирина Демьяновна**, старший преподаватель кафедры вентиляции, теплогазо- и водоснабжения института строительства, архитектуры и жилищно-коммунального хозяйства Луганского государственного университета имени Владимира Даля.  
*SPIN-код: 1793-5386, AuthorID: 1236927*  
**E-mail:** chernikova\_i\_d@mail.ru

**Андрийчук Владислав Николаевич**, канд. техн. наук, доцент кафедры вентиляции, теплогазо- и водоснабжения института строительства, архитектуры и жилищно-коммунального хозяйства Луганского государственного университета имени Владимира Даля.  
*SPIN-код: 6518-6551, AuthorID: 1182325*  
**E-mail:** vlad19790401a@gmail.com

**Андрийчук Николай Данилович**, д-р техн. наук, профессор, директор института строительства, архитектуры и жилищно-коммунального хозяйства Луганского государственного университета имени Владимира Даля.  
*SPIN-код: 8891-2117, AuthorID: 1120325*  
**E-mail:** nikolai.andriichuk@mail.ru

**Information about the authors**

**Chernikova Irina Demyanovna**, Senior Lecturer of Ventilation, Heat, Gas and Water Supply Department of Construction, Architecture and Housing and Communal Services Institute of Vladimir Dahl Lugansk State University.  
*SPIN-код: 1793-5386, AuthorID: 1236927*  
**E-mail:** chernikova\_i\_d@mail.ru

**Andriichuk Vladislav Nikolaevich**, PhD (Eng), Associate Professor of Ventilation, Heat, Gas and Water Supply Department of Construction, Architecture and Housing and Communal Services Institute of Vladimir Dahl Lugansk State University.  
*SPIN-код: 6518-6551, AuthorID: 1182325*  
**E-mail:** vlad19790401a@gmail.com

**Andriichuk Nikolai Danilovich**, DSc (Eng), Professor, Director of Construction, Architecture and Housing and Communal Services Institute of Vladimir Dahl Lugansk State University.  
*SPIN-код: 8891-2117, AuthorID: 1120325*  
**E-mail:** nikolai.andriichuk@mail.ru

---

**Для цитирования:**

Черникова И.Д., Андрийчук В.Н., Андрийчук Н.Д. Совершенствование вентиляционных систем применением МРС-регулятора // Вестник Луганского государственного университета имени Владимира Даля. – 2024. – № 12(90). – С. 104-112.

**For citation:**

Chernikova I.D., Andriichuk V.N., Andriichuk N.D. Improving of ventilation systems using mpc controller // Vestnik of Lugansk State University named after Vladimir Dahl. – 2024. – № 12(90). – P. 104-112.

---

УДК 004.67:533.6.08

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СТРУЙНОГО АВТОГЕНЕРАТОРА НА ЭФФЕКТЕ КОАНДА ДЛЯ РАСЧЕТА ПРИБОРНОЙ СКОРОСТИ МАЛОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

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

## USING A JET AUTOGENERATOR BASED ON THE COAND EFFECT TO CALCULATE THE INSTRUMENT SPEED OF A SMALL AIRCRAFT

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

**Аннотация.** В статье рассматривается возможность повышения уровня локализации комплектующих для производства навигационного оборудования малых летательных аппаратов за счёт внедрения струйных технологий. На основе предварительных расчётов показано, что использование эффекта Коанда, который описывает поведение струи жидкости или газа, прилегающей к поверхности, позволяет создать устройство для измерения приборной скорости. Разработанное решение обеспечивает практически полную локализацию производства (до 100%) с сохранением оптимальных массогабаритных характеристик, используя исключительно компоненты российского производства.

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

**Abstract.** The article considers the possibility of increasing the localization level of components for the production of navigation equipment for small aircraft through the introduction of inkjet technologies. Based on preliminary calculations, it is shown that using the Coand effect, which describes the behavior of a jet of liquid or gas adjacent to a surface, makes it possible to create a device for measuring instrument velocity. The developed solution ensures almost complete localization of production (up to 100%) while maintaining optimal weight and size characteristics, using exclusively Russian-made components.

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

**Введение.** В условиях современного глобального мира вопросы экономического развития и обеспечения национальной независимости выходят на первый план. Особую актуальность в этом контексте приобретает проблема импортозамещения, которая играет ключевую роль в укреплении экономической устойчивости государства и повышении благосостояния его граждан.

За последние десять лет Российская Федерация столкнулась с множеством экономических вызовов, включая санкционные ограничения и введение продовольственного эмбарго. Эти меры привели к дефициту некоторых категорий товаров и росту инфляции. Наиболее ощутимо последствия кризиса отразились на таких отраслях, как авиастроение, машиностроение, энергетика и оборонная промышленность, которые лишились доступа к зарубежному оборудованию и импортным комплектующим.

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 определение приборной скорости играет ключевую роль в обеспечении безопасности полётов летательных аппаратов. Этот параметр характеризует скорость движения самолёта относительно окружающего воздушного потока, что позволяет пилотам своевременно

корректировать траекторию и избегать потенциально опасных ситуаций. Ошибки в оценке приборной скорости могут привести к потере управляемости, вызванной аэродинамическим срывом потока на несущих поверхностях, что делает её точное измерение критически важным для успешного пилотирования.

Эффект Коанда – это физическое явление, при котором струя жидкости или газа стремится прилипнуть к прилегающей поверхности и следовать её контуру, вместо того чтобы двигаться по прямой. Этот эффект назван в честь румынского учёного Анри Коанда, который впервые подробно описал его в начале XX века.

**Постановка задачи.** Рассмотреть возможности расчета приборной скорости летательного аппарата с использованием в качестве первичного измерительного преобразователя струйного генератора, основанного на эффекте Коанда.

**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]. В работе [4] описано проявление эффекта Коанда при выдуве струй из прямоугольных сопел под углом к плоской поверхности.

Разработанный измерительный преобразователь приборной скорости малого летательного аппарата является научным модулем – частью пикоспутника формата CanSat, создаваемого сборной командой «Звёздочки» Регулярной лиги, для участия в 14 Всероссийском чемпионате Воздушно-инженерной школы, г. Владимир, июль 2025 года.

Габаритный чертеж и 3D-модель тропосферного пикоспутника с интегрированным в его конструкцию научным модулем показаны на рис. 1 и 2.

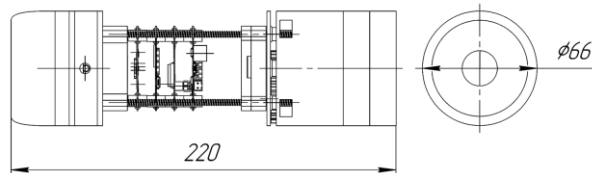


Рис. 1. Габаритный чертеж пикоспутника

Научный модуль – измеритель приборной скорости 1 расположен в передней части пикоспутника. Воздухозаборник прибора направлен вперед по направлению траектории полета и воспринимает набегающий воздушный поток, направляя его во входное отверстие струйного автогенератора.

Далее, перемещаясь к кормовой части пикоспутника, отсек аккумулятора 2 защищает аккумулятор от повреждения в случае возможного удара при падении. Бортовой компьютер 3 расположен в средней части

аппарата. В хвостовой части спутника, как имеющей наиболее высокую вероятность уцелеть при нештатном приземлении, бортовой самописец 4, в энергонезависимую память которого производится запись телеметрической информации о параметрах полета.

Научный модуль пикоспутника - первичный измерительный преобразователь приборной скорости малого летательного аппарата в настоящий момент изготовлен, проверена его работоспособность. Фото внешнего вида прибора в сборе представлено на рис. 3.

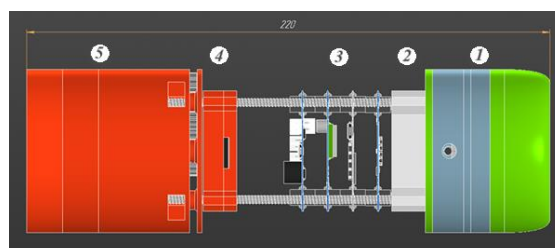


Рис. 2. 3D-модель пикоспутника

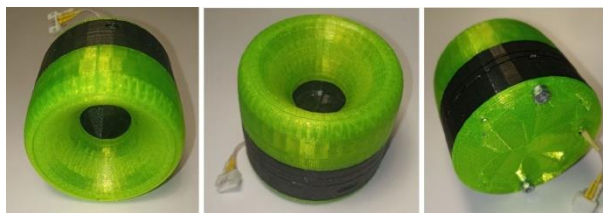


Рис. 3. Первичный измерительный преобразователь приборной скорости малого летательного аппарата

Для расчета приборной скорости малого летательного аппарата используем зависимость частоты автоколебаний в струйном генераторе от скорости проходящего через него воздушного потока. Частота переключения струйного автогенератора определяется выражением:

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

где  $\mu$  – коэффициент расхода, определяемый геометрическими параметрами каналов логического элемента;

$\rho$  – плотность измеряемой среды (воздуха).

Частота переключения струйного автогенератора  $f_{\text{ген}}$  пропорциональна скорости проходящего через него воздушного потока:

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

где  $k$  – коэффициент пропорциональности, определяемый геометрическими параметрами воздухозаборника, потерями давления в канале, соединяющем выход воздухозаборника со входом струйного логического элемента, и т.п. В продолжении выполняемого исследования предполагается определение коэффициента пропорциональности  $k$  экспериментальным путем.

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

**Выводы.** В статье рассматривается возможность повышения уровня локализации комплектующих для производства навигационного оборудования малых летательных аппаратов за счёт внедрения струйных технологий. На основе предварительных расчётов показано, что использование эффекта Коанда, который описывает поведение струи жидкости или газа, прилегающей к поверхности, позволяет создать устройство для измерения приборной скорости. Разработанное решение обеспечивает практически полную локализацию производства (до 100%) с сохранением оптимальных

масштабных характеристик, используя исключительно компоненты российского производства.

#### 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.

#### 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.

*Статья поступила в редакцию 22.10.2024*

#### Информация об авторах

**Малахова Виктория Владимировна**, кандидат технических наук, доцент кафедры прикладной математики Луганского государственного университета имени Владимира Даля, г. Луганск.

*SPIN-код: 3997-1030, AuthorID: 1166790*

**E-mail:** malakhova\_viktoriya84@mail.ru

**Малахов Олег Владимирович**, доцент кафедры автоматизации и компьютерно-интегрированных технологий Луганского государственного университета имени Владимира Даля, г. Луганск.

*SPIN-код: 3733-4317, AuthorID: 1166918*

**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 Luhansk State University named after Vladimir Dal.

*SPIN-code: 3997-1030, AuthorID: 1166790*

**E-mail:** malakhova\_viktoriya84@mail.ru

**Malakhov Oleg Vladimirovich**, Associate Professor of the Department of Automation and Computer-Integrated Technologies of the Luhansk State University named after Vladimir Dal, Luhansk.

*SPIN-code: 3733-4317, AuthorID: 1166918*

**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 No. 1 named after Professor Lev Mikhailovich Lopovok", Luhansk.

**E-mail:** oleg\_home1@mail.ru

---

#### Для цитирования:

Малахова В.В., Малахов О.В., Малахова Я.О. Использование струйного автогенератора на эффекте Коанда для расчета приборной скорости малого летательного аппарата // Вестник Луганского государственного университета имени Владимира Даля. – 2024. – № 12(90). – С. 113-116.

#### For citation:

Malakhova V.V., Malakhov O.V., Malakhova I.O. Using a jet autogenerator based on the Coand effect to calculate the instrument speed of a small aircraft // Vestnik of Lugansk State University named after Vladimir Dahl. – 2024. – № 12(90). P. 113-116.

---

УДК 378.147

## УРОВЕНЬ СФОРМИРОВАННОСТИ ОРГАНИЗАЦИОННО-УПРАВЛЕНЧЕСКОЙ КОМПЕТЕНЦИИ У СТУДЕНТОВ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ

Димитриев А.С.

## THE LEVEL OF EDUCATION ORGANIZATIONAL AND MANAGERIAL COMPETENCE STUDENTS OF PROFESSIONAL EDUCATIONAL ORGANIZATIONS

Dimitriev A.S.

**Аннотация.** Актуальность определения критериев сформированности у студентов организационно-управленческой компетенции задана запросом государства в подготовке высококвалифицированных кадров для развития экономики в условиях санкций. Цель исследования – выявить и обосновать критерии, которые позволят определить уровень формирования организационно-управленческой компетенции. Достижение цели исследования осуществлялось путем решения задач по выявлению сущности критериев формирования компетенций, определению закономерностей при сравнении критериев. На основе анализа психолого-педагогической литературы и выявленных закономерностей обоснованы авторские критерии, позволяющие определить уровень овладения организационно-управленческой компетенцией студентов.

В статье раскрыты личностно-функциональный, организационно-деятельностный, коммуникативный, рефлексивный критерии и их показатели. К показателям, исследуемой компетенции, относятся личное позиционирование руководителя, его образ, лидерские качества, интеллект, адаптивная готовность, стрессоустойчивость, профессионально-важные качества, коммуникативные навыки, рефлексивные способности.

**Ключевые слова:** компетенция, компоненты, показатели, оценка, основы управленческой деятельности, профессиональное образование, высшее образование, взаимосвязь, индивидуальное проектирование, рефлексия.

**Abstract.** The relevance of determining the criteria for the formation of organizational and managerial competence among students is set by the state's request for the training of highly qualified personnel for economic development under sanctions. The purpose of the study is to identify and substantiate criteria that will determine the level of formation of organizational and managerial competence. The achievement of the research goal was carried out by solving the tasks of identifying the essence of the criteria for the formation of competencies, determining patterns when comparing criteria. Based on the analysis of psychological and pedagogical literature and the revealed patterns, the author's criteria are justified, allowing to determine the level of mastering the organizational and managerial competence of students.

The article reveals personal-functional, organizational-activity, communicative, reflexive criteria and their indicators. The indicators of the competence under study include the personal positioning of the head, his image, leadership qualities, intelligence, adaptive readiness, stress resistance, professionally important qualities, communication skills, reflective abilities.

**Key words:** competence, components, indicators, assessment, management activity, professional education, higher education, interrelation, individual design, reflection.

**Введение.** Современная международная и общественно-политическая обстановка в стране и мире обозначила необходимость переориентации на создание внутригосударственного кадрового потенциала во всех отраслях. Для России стало очень важно добиться высоких показателей и

роста в различных видах профессиональной деятельности, науки, производства, обороны, цифровых технологий, социальных отношений, общественных сфер жизни, культуры, спорта и других. Результативность любой деятельности

зависит от организации, планирования, руководства, управления и контроля.

Перечисленные выше составляющие любой деятельности способны выполнить только высококвалифицированные отечественные кадры, обладающие сформированной организационно-управленческой компетенцией.

В образовательной и трудовой сферах деятельности универсальной единицей определения профессиональных знаний, умений, опыта специалистов выступают компетенции. Подготовка высококвалифицированных кадров является задачей высшего образования.

Качественное формирование организационно-управленческой компетенции напрямую зависит от организации образовательной деятельности, образовательных программ, технологий, требований и критериев. Актуальность определения и уточнения критериев обусловлена запросами к практической направленности выпускников вузов на выполнение руководящих функций в условиях санкций по отношению к России.

Проблема исследования видится в недостаточной разработанности критериев и показателей, определяющих уровень сформированности у студентов организационно-управленческой компетенции.

Цель исследования – выявление и обоснование критериев по определению уровня организационно-управленческой компетенции.

Достижение цели исследования осуществлялось решением следующих задач:

- выявление сущности критериев формирования компетенции;
- определение всех закономерностей при сравнении критериев оценивания организационно-управленческой компетенции;
- обоснование выявленных критериев.

При решении задач исследования были использованы методы:

- теоретические (анализ психологических и педагогических источников проблемы исследования, логические обобщения и систематизация полученной информации);
- эмпирические (наблюдение, анкетирование, беседы, анализ результатов и оценка).

Теоретическую базу для исследования составили работы отечественных ученых Т.Н. Гриневецкая, Г.М. Коджаспирова, Р.Г. Пантелеев и др. [1;2;3].

В рамках исследования критериев, определяющих формирование исключительно организационно-управленческой компетенции, рассмотрены работы Е.В. Савенковой, И.А. Сидорова и др. [5; 6].

Основными понятиями в исследовании являются «критерии» и «показатели». Под критерием понимается признак, на основании которого производится оценка, определение или классификация чего-либо; мера суждения, оценки какого-либо явления. В Педагогическом словаре В.И. Загвязинского «показателю» дается определение, как характеристики определенного критерия (признака) исследуемого объекта, количественные и качественные данные о свойствах.

Критерии являются отличительными признаками компетенции, которые раскрываются через обобщенные показатели. Соответственно, показатели более детально раскрывают качественные и количественные свойства сформированности организационно-управленческой компетенции.

Сравнительный анализ работ ученых, занимавшихся исследованием организационно-управленческой компетенции, наглядно отражает многообразие критериев и показателей в зависимости сферы деятельности.

Среди критериев можно выделить ряд характерных, которые составили определенную закономерность в основе критериев и показателей у большинства ученых:

1. Наличие профессиональных знаний и умений (когнитивный блок).
2. Навыки и задатки опыта деятельности.
3. Личностные (психологические) особенности.
4. Индивидуальная мотивация и способности мотивирования подчиненных.
5. Коммуникативные способности и умения.
6. Осознанное понимание вопросов деятельности по распределению задач и служебного времени.
7. Рефлексивные способности и другие признаки, характерные определенной сфере деятельности.

Критерии, которые представлены в работах ученых Р.Г. Пантелеева, И.А. Сидорова, А.Е. Шастиной, О.В. Поповой, Е.В. Савенковой, сопоставимы и взаимосогласованные с компонентами организационно-управленческой компетенции – когнитивного, мотивационного, деятельностного [4;6].

При изучении степени сформированности рассматриваемой компетенции очень важно определить уровень личной готовности студентов к осуществлению управленческих функций, оценить их теоретические знания (способности), практические умения, сформированный опыт выполнения обязанностей, их коммуникативные возможности для взаимодействия с

подчиненными и личное позиционирование себя как руководителя.

Анализ психолого-педагогической литературы и перечисленные методы исследования позволили достичь цели и сформулировать авторские критерии и показатели оценки компетенции у студентов. Определение уровня сформированности рассматриваемой компетенции у студентов основано на изучении их личных способностей и готовности к выполнению руководящих функций, что определяет личностно-функциональный критерий. Он раскрывается через такие показатели, как способность соответствовать образу руководителя, проявлять лидерство, интеллектуальные способности, гибкость мышления, быструю адаптацию к изменениям.

Деятельность руководителя по организации, планированию, управлению, контролю непосредственно связана с его способностями рационального и целесообразного планирования, руководства, осуществления всестороннего контроля, аналитики, целеполагания, прогнозирования и стрессоустойчивости. Данные показатели определяют организационно-деятельностный критерий.

Следует отметить, что выполнение должностных обязанностей руководителя тесно сопрягается с общением как с вышестоящими начальниками, так и подчиненными коллегами. Кроме того, руководителю необходимо регулировать взаимоотношения в коллективе и межличностное общение.

Установление связей в общении и личных отношений определяет только коммуникативный критерий. Данный критерий раскрывается через такие показатели, как способность установления межличностных отношений (предупреждения конфликтных ситуаций) и мотивирования подчиненных (способность развития инициативы у подчиненных).

Одним из ключевых критериев, определяющих формирование компетенции, также является способность к рефлексии (рефлексивный критерий).

Рефлексивность является способностью личности анализировать свои поступки, поведение, проводить сравнение своего отношения к определенным людям и происходящим событиям. На наш взгляд, рефлексивные способности необходимы будущему руководителю в профессиональной деятельности, так как они отражают способность человека рассмотреть варианты поведения (решения ситуативных задач личного восприятия), взвесить все «за» и «против», и

наиболее обдуманно и целесообразно принять решение.

На основании всех перечисленных критериев и показателей оценки уровня сформированности у студентов организационно-управленческой компетенции – определяется ее уровень. Для определения уровня освоения компетенции в исследовании выделены продвинутый, оптимальный и базовый уровни.

Продвинутый уровень характеризует успешное и наиболее качественное осуществление руководящей, организаторской и управленческой функции в профессиональной деятельности, высокий потенциал конкурентоспособности, активную мотивационную позицию и стремление к самореализации.

Оптимальный уровень характеризует готовность будущего руководителя организовывать деятельность подчиненных, целесообразное осуществление планирования, координация и контроль, умение выбрать оптимальный управленческий стиль.

Базовый уровень характеризуется способностями студента к осуществлению руководящей и управленческой функции с требованиями, позволяющими выполнить профессионально значимые задачи.

Критерии и показатели позволяют наиболее качественно определить степень эффективности реализации технологии, основанной на использовании средств индивидуального проектирования в процессе профессионального образования и выработать перспективные направления по повышению эффективности подготовки успешных руководителей.

**Выводы.** Проанализировав и обобщив результаты ранее проведенных исследований по проблеме определения критериев при формировании у студентов организационно-управленческой компетенции, в исследовании были установлены четыре критерия: личностно-функциональный, организационно-деятельностный, коммуникативный и рефлексивный. Выявленные критерии и показатели явились основой для разработки результативного блока технологии по формированию компетенции и ее определения на продвинутом, оптимальном или базовом уровне.

#### Список источников

1. Гриневецкая, Т. Н. Влияние организационно-управленческих компетенций военнослужащих войск национальной гвардии на качество выполнения задач / Е. В. Ньютин, Т. Н. Гриневецкая, В. В. Затеков. – Текст :

непосредственный // Мир науки, культуры, образования. – 2021. – № 3 (88). – с. 274–277.

2. Коджаспирова, Г. М. Педагогический словарь: для студентов высших и средних педагогических учебных заведений / Г. М. Коджаспирова, А. Ю. Коджаспиров. – 2-е изд., стер. – М.: Академия, 2020. – 176 с. – Текст: непосредственный.

3. Критериально-оценочный аппарат сформированности организационно-управленческой компетенции будущего военного специалиста / П. И. Образцов, А. И. Козачок, А. И. Войцеховский, Р. Г. Пантелеев. – Текст: непосредственный // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Проблемы высшего образования. – 2019. – № 1. – с. 73–77.

4. Савенкова, Е. В. Технология формирования организационно-управленческой компетентности будущих менеджеров образования в условиях педагогического вуза / Е. В. Савенкова. – Текст: непосредственный // Современные образовательные технологии: монография. – 2-е изд., расш. и доп. – Новосибирск: Центр развития научного сотрудничества, 2021. – с. 208–223.

5. Сериков, В. В. Подходы к измерению компетентности специалиста и оценка его сформированности / В. В. Сериков, А. В. Леонтьев, Р. Р. Закиева. – Текст: непосредственный // Казанский педагогический журнал. – 2022. – № 1 (150). – с. 29–35.

6. Сидоров, И. А. Эффективность технологии по развитию у курсантов военных вузов управленческой компетенции / И. А. Сидоров. – Текст: непосредственный // Глобальный научный потенциал. – 2018. – № 9 (90). – с. 37–40.

## References

1. Grinevetskaya, T. N. The influence of organizational and managerial competencies of servicemen of the National Guard troops on the quality of task performance / E. V. Nyftin, T. N. Grinevetskaya, V. V. Zateev. – Text: direct // The world of science, culture, and education. – 2021. – № 3 (88). – Pp. 274–277.

2. Kocaespirova, G. M. Pedagogical dictionary: for students of higher and secondary pedagogical educational institutions / G. M. Kocaespirova, A. Y. Kocaespirov. – 2nd ed., ster. – M.: Academy, 2020. – 176 p. – Text: direct.

3. Criteria and evaluation apparatus for the formation of organizational and managerial competence of a future military specialist / P. I. Obratsov, A. I. Kozachok, A. I. Voitsekhovsky, R. G. Panteleev. – Text: direct // Bulletin of the Voronezh State University. Series: Problems of higher education. – 2019. – No. 1. – pp. 73–77.

4. Savenkova, E. V. Technology of formation of organizational and managerial competence of future education managers in the conditions of a pedagogical university / E. V. Savenkova. – Text: direct // Modern educational technologies: monograph. – 2nd ed., expanded and additional – Novosibirsk: Center for the Development of Scientific Cooperation, 2021. – pp. 208–223.

5. Serikov, V. V. Approaches to measuring the competence of a specialist and assessment of his formation / V. V. Serikov, A. V. Leontiev, R. R. Zakieva. – Text: direct // Kazan Pedagogical Journal. – 2022. – № 1 (150). – Pp. 29–35.

6. Sidorov, I. A. The effectiveness of technology for the development of managerial competence among cadets of military universities / I. A. Sidorov. – Text: direct // Global scientific potential. – 2018. – № 9 (90). – Pp. 37–40.

*Статья поступила в редакцию 18.10.2024*

## 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:** [lp1tdo@mail.ru](mailto:lp1tdo@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:** [lp1tdo@mail.ru](mailto:lp1tdo@mail.ru)

## Для цитирования:

Димитриев А. С. Уровень сформированности организационно-управленческой компетенции у студентов профессиональных образовательных организаций // Вестник Луганского государственного университета имени Владимира Даля. – 2024. – № 12(90). – С. 117–120.

## For citation:

Dimitriev A. S. The level of education organizational and managerial competence students of professional educational organizations// Vestnik of Lugansk State University named after Vladimir Dahl. – 2024. – № 12(90). – P. 117–120.

УДК 377.1

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЦЕННОСТНЫХ ОРИЕНТАЦИЙ СТУДЕНТОВ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ СРЕДНЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО  
ОБРАЗОВАНИЯ ПУТЕМ АКСИОЛОГИЧЕСКОГО ПОДХОДА КАК МЕТОДА  
ПЕРСПЕКТИВНОЙ СТРАТЕГИИ ВОСПИТАНИЯ**

Димитриева О. А.

**RESEARCH OF VALUE ORIENTATIONS OF STUDENTS OF EDUCATIONAL  
INSTITUTIONS OF SECONDARY VOCATIONAL EDUCATION BY USING AN  
AXIOLOGICAL APPROACH AS A METHOD OF A PROMISING PARENTING  
STRATEGY**

Dimitrieva O. A.

***Аннотация.** В статье раскрываются особенности социальной ситуации, сложившиеся в стране и мире в последние два года. Характеризуется специфика осознания общепринятых базовых человеческих ценностей – ценностей сохранения здоровья, взаимопомощи, личностной поддержки, нравственного взаимодействия между людьми. Осуществляется теоретический анализ ценностных ориентаций подростков и ценностно-ориентационного единства. Использована методология педагогической антропологии, определены возможные методы исследования ценностных ориентаций студентов. Выбор аксиологического подхода в качестве методологической основы исследования ценностных ориентаций студентов позволил рассмотреть ценности как важный социально-педагогический феномен, который требует конкретного исследования, отражающего особенности современной социальной ситуации в сознании и поведении студентов образовательных организаций среднего профессионального образования. Сделан ряд выводов и намечены пути дальнейших исследований особенностей ценностных ориентаций студентов.*

*Показано, что опора на терминальные ценности, отраженные в сознании и поведении подростков, раскрывает перспективы жизненных смыслов и ценностей общественного признания личности; инструментальные ценности определяют совершенствование нравственных характеристик, которые являются детерминантами повседневной жизни, совместной деятельности и межличностных отношений.*

***Ключевые слова:** ценности, ценностно-ориентационное единство, аксиология, культурно-историческая теория, социальная ситуация, терминальные ценности, инструментальные ценности, методы исследования.*

***Abstract.** The article reveals the peculiarities of the social situation that has developed in the country and the world in the last two years. The specificity of awareness of generally accepted basic human values is characterized – the values of preserving health, mutual assistance, personal support, and moral interaction between people. A theoretical analysis of the value orientations of adolescents and value-orientation unity is carried out. The methodology of pedagogical anthropology was used, possible methods of studying students' value orientations were identified. The choice of an axiological approach as a methodological basis for the study of students' value orientations allowed us to consider values as an important socio-pedagogical phenomenon that requires specific research reflecting the peculiarities of the modern social situation in the minds and behavior of students of educational organizations of secondary vocational education. A number of conclusions have been drawn and ways of further research into the peculiarities of students' value orientations have been outlined.*

*It is shown that reliance on terminal values reflected in the consciousness and behavior of adolescents reveals the prospects of life meanings and values of social recognition of personality; instrumental values determine the improvement of moral characteristics that are determinants of everyday life, joint activities and interpersonal relationships.*

***Key words:** values, value-oriented unity, axiology, cultural and historical theory, social situation, terminal values, instrumental values, research methods.*

**Введение.** Категория ценностных ориентаций широко обсуждается в педагогике, психологии, культурологии, социологии, философии. В отечественной науке проблема ценностей и ценностных ориентаций стала широко обсуждаться во второй половине XX века, в связи с возрастающим интересом к проблемам личности и общечеловеческим проблемам социального бытия.

Об этом свидетельствуют исследования отечественных и зарубежных философов А.К. Абишева [1], Н.А. Астахова [2], В.А. Барabanщиков [3] и др.

Раскрывая методологические проблемы развития личности, авторы ориентируются на ее структуру и строение, выявляют место ценностных ориентаций в динамике жизненного пути человека и его личностного роста.

Так, Г.Ю. Беляев отмечал, что ценностные ориентации складываются из установок личности на освоение тех или иных ценностей материальной или духовной культуры. В результате формирования ценностных ориентаций у человека складывается ось сознания, вокруг которой вращаются его помыслы и чувства [4, с.46-49].

Проблема ценностей и ценностных ориентаций является одной из самых дискуссионных в психолого-педагогической науке. Словарно-справочная литература свидетельствует о том, что понятие ценностей чаще используется в философии и социологии для обозначения объективных общественно значимых идеалов [4, с.46-49]. В системе психолого-педагогического знания речь идет о субъективных идеалах и ценностях личности.

В системе гуманитарного знания сложилась традиция относить ценности к объектам культуры, а ценностные ориентации – к детерминантам развития личности. А.Я. Данилюк, Э.В. Зауторова подчеркивали, что ценностные ориентации представляют собой «стержневую особенность личности, ее структурный центр», определяющий направление и содержание социальной активности личности, «систему новых стремлений, переживаний и аффективных реакций» [7; 8, с. 68-73]. Ценностные ориентации определяют особенности мотивационных установок, потребностей и интересов человека, влияют на его избирательное отношение к объектам материальной и духовной культуры, способствуют формированию предпочтений в выборе видов деятельности, партнеров по общению и взаимодействию.

Диалектический подход к научному осознанию ценностей и ценностных ориентаций

послужил основанием для исследования динамики ценностных ориентаций в онтогенезе.

К проблемам совершенствования ценностных ориентаций у подрастающего поколения исследователи обращаются постоянно. Примером классического подхода к формированию ценностно-ориентационного единства в детских коллективах явился опыт А.С. Макаренко, сложившийся в первой четверти XX века. В его практическом опыте суть формирования ценностных ориентаций воспитанников детской колонии для беспризорников была основана на значимости совместной общественно полезной деятельности, на традициях коллективных отношений, основанных на принципах взаимного уважения, перспективных целей, постоянного развития, товарищеского соподчинения и требовательности к каждому члену коллектива. Ценности коллективных связей и отношений обеспечивали развитие сотрудничества юношей и девушек со взрослыми и сверстниками в различных видах деятельности, создавали атмосферу ценностно-ориентационного единства в детском воспитательном коллективе, совершенствовали богатство личностной культуры каждого представителя коллективного сообщества.

В 60–70-х годах XX века к изучению вопросов формирования ценностных ориентаций обратились сотрудники проблемной лаборатории Л.И. Божович. Они осуществили глубокое исследование проблем развития личности и динамики ценностных ориентаций в онтогенезе подростков. В работах отечественных и зарубежных исследователей В.А. Барabanщиков, Л.С. Гаязов, А.Я. Данилюк и др. были исследованы особенности воспитания ответственного поведения, условий формирования общей заботы субъектов взаимодействия, гуманизма и ценностно-ориентационного единства в детских коллективах [3,6,7]. Учеными было выявлено, что проблемные озабоченности подростков связаны с отсутствием ценностно-ориентационного единства со своими сверстниками, рассогласованием с друзьями и взрослыми в оценках общественных отношений, в возникновении противоречий по поводу правил общежития и развития общества, в ситуациях проявлений безнравственности между людьми, демонстрации равнодушия и безразличия по отношению друг к другу, проявлений потребительского отношения к экологическим проблемам; в несоблюдении его прав и свобод, в демонстрации национализма и отсутствии чувства защищенности личности в обществе.

На рубеже XX–XXI веков появились методологические разработки, уточняющие

аксиологические основания для оценок ценностных ориентаций и исследования значимости накопления ценностей в культурно-историческом пространстве. Методология аксиологического поиска была направлена на определение принципов и категорий формирования ценностных ориентаций личности. В категориальном аппарате современной педагогической аксиологии расширены представления о структуре ценностей обучающихся и содержательных характеристиках их компонентов. Понятие «ценность» раскрывает характеристику личности как субъекта ценностных отношений, а также отражает комплекс категорий, включающих такие аксиологические понятия, как «оценка», «потребности человека», «мотивация достижений», «ценностные ориентации личности», «ценностно-ориентационное единство групп и коллективов» и др.

А.В. Кирьякова – одна из первых, кто обратился к основам педагогической аксиологии в контексте изучения гуманистических проблем современного образования. Педагогическая аксиология не только получила дальнейшее обоснование и развитие в их трудах, но и выступила в качестве теоретического основания для исследования особенностей ценностных ориентаций личности [9, с.57-68].

Авторами отмечено, что, несмотря на совместное широкое использование категорий «ценность» и «ценностные ориентации» личности, они имеют не только личностный, но и общественно значимый смысл. При этом, в связи с постоянными изменениями, происходящими в социальной ситуации развития общественных отношений, они требуют уточнения и конкретизации, т. к. под их влиянием происходит изменение жизнедеятельности самого человека.

Диалектика ценностей состоит в преемственности их существования, как в мире, так и в сознании отдельного человека. Благодаря накоплению культурно-исторического опыта осуществляется появление общественно значимых событий и явлений, новых социальных достижений, обеспечивающих динамику социального прогресса. У человека, живущего в конкретной социальной ситуации, происходит формирование внутренних структур психики, которые, благодаря процессу интериоризации, способствуют присвоению им общественно значимых ценностей, входящих в копилку культурно-исторического опыта всего человечества.

В свою очередь, трансформация ценностных ориентаций каждой личности, каждого отдельного субъекта в систему социальных

отношений, способствует обогащению и накоплению культурно-исторического опыта всего человечества, совершенствованию нравственного развития общества, социального прогресса в системе общественного взаимодействия. Эта мысль находит подтверждение в исследованиях Л.С. Выготского, А.Н. Леонтьева и др., посвященных методологическим проблемам развития психики. Характеризуя динамику и структуру развития личности подростка, Л.С. Выготский сформулировал два основных закона культурно-исторической теории развития высших психических функций, являющихся «основным ядром слагающейся личности».

Раскрывая первый закон культурно-исторической теории развития высших психических функций, Л.С. Выготский дает обоснование перехода «от непосредственных, природных, естественных форм и способов поведения к опосредованным, искусственным, возникшим в процессе культурного развития психическим функциям» человека. Автор отмечал, что культурное развитие поведения человека и освоение им ценностных ориентаций находится в преемственной связи с социально историческим развитием всего человечества. В работе «История развития высших психических функций» Л.С. Выготский писал: «Всякая функция в культурном развитии ребенка появляется на сцену дважды, в двух планах, сперва в социальном, потом – психологическом, сперва между людьми, как категория интерпсихическая, затем внутри ребенка, как категория интрапсихическая. Это относится одинаково к произвольному вниманию, к логической памяти, к образованию понятий, к развитию воли».

Согласно второму закону культурно-исторической теории Л.С. Выготского «отношения между высшими психическими функциями было некогда реальным отношением между людьми; коллективные, а также, социальные формы поведения в процессе развития становятся способами индивидуального приспособления, формами поведения и мышления». Для исследования сущностных характеристик формирования ценностных ориентаций подростков важен вывод Л.С. Выготского о том, что культурное развитие человека, способствующее освоению нравственных ценностей, формируется в двух планах: сначала в социальном плане, «интрапсихическом» в форме коллективного сотрудничества между людьми, а затем, в форме индивидуального бытия человека – в «интерпсихическом».

Культурно-историческая концепция Л.С. Выготского созвучна теории развития психики в системе человеческой деятельности А.Н. Леонтьева. Он отмечал, что в совершенствовании ценностных ориентаций субъекта огромную роль выполняют два ряда значений: «объективные значения» и «личностные смыслы». Объективные значения ценностных ориентаций являются отражением действительности, выработанным человечеством и зафиксированным в форме знаний, умений, понятий, компетенций, способов деятельности, обобщенных образов действий и норм поведения.

Объективные значения отражают действительность независимо от личностного отношения человека к ней. А.Н. Леонтьев констатировал, что человек попадает в мир культуры сразу после рождения. Он находится в готовой, исторически сложившейся системе общечеловеческих ценностей. Благодаря природной активности, познавательному интересу, социальной среде, воспитанию и образованию ребенок овладевает объективными значениями ценностей, созданных человечеством. Знакомство взрослого человека с базовыми ценностями способствует формированию собственных ценностных ориентаций личности в онтогенезе, обеспечивающих развитие личностной культуры и нравственной сферы субъекта. Таким образом, согласно теории А.Н. Леонтьева, значение представляет собой объективный элемент ценностей, существующих в культуре, а ценностные ориентации, представляя собой смыслы жизнедеятельности человека, выраженные в субъективном отношении человека к объективным ценностям и в принятии их. Согласно гуманистической концепции Э.В. Зауторова, ценностные ориентации представляет собой набор тех качеств, которые люди ценят и реализуют в практической деятельности. Такое понимание позволило автору разделить ценности на два класса: класс объективных ценностей, существующих независимо от человека, и класс субъективных, т. е. личностных ценностей [8, с. 68-73].

Класс объективных ценностей составляют природные, предметные и социокультурные явления. Класс субъективных ценностей складывается из этических норм и социальных стандартов, определяющих особенности деятельности, поведения, оценок, идеалов, принципов, нравственных установок конкретной личности. Если объективные ценности во многом изменчивы, динамичны и зависят от изменений в природных явлениях, от динамических процессов в научно-технической сфере, в социальной

ситуации общественных отношений, то субъективные ценности стабильны, более устойчивы и проверены мировой историей существования человечества. Методология аксиологического подхода к обоснованию ценностных ориентаций личности свидетельствует о том, что главные ценности, объединяющие народы и наполняющие жизнь каждого человека конкретными смыслами, одинаковы для всего человечества – любовь, труд, забота, доброта, здоровье, образование, гуманизм, мир на земле. Аксиологический подход получил широкое распространение в исследованиях современной воспитательно-образовательной практики. Он способствует конкретизации содержания целостного педагогического процесса и определяет задачи по формированию социально- нравственных качеств личности в условиях образовательной среды.

В центре педагогической аксиологии находится концепция взаимодействия человека и мира, обоснование ценности человеческой жизни, значимости и непрерывности процессов воспитания, обучения и образования человека на всех этапах его возрастного развития. Стремление обосновать ценность непрерывного образования и развития личности в социальной ситуации современного Российского государства, позволит обеспечить формирование гуманистических отношений между людьми, будет способствовать совершенствованию чувства долга, гражданской позиции, общественной активности личности. Педагогическая аксиология, как методология формирования ценностных ориентаций личности, определяет ценностную и мировоззренческую систему в государстве, является основой культурного бытия общества и человека.

Основой ориентации личности в социальном пространстве выступает комплекс социально-нравственных ценностей, который находится в основе системы гуманистических отношений между людьми.

Все это делает ценностные ориентации одной из главных, «глобальных» характеристик личности, а их развитие, соответственно, одной из основных задач гуманистической педагогики и одним из путей гуманизации общественной жизни.

Выбор аксиологического подхода в качестве методологической основы исследования ценностных ориентаций подростка позволяет рассмотреть ценности как важный социально-педагогический феномен, который требует конкретного исследования, отражающего особенности современной социальной ситуации в сознании и поведении подростков. Одним из

наиболее эффективных методов изучения суждений подростков признано анкетирование.

Для изучения суждений студентов о значимости тех ценностей, которые для них особенно важны в сложившейся социальной ситуации, была разработана и апробирована анкета «Ценностные ориентации современных подростков». Основанием для разработки авторской анкеты послужила адаптированная методика М. Рокича «Ценностные ориентации».

Известно, что методика изучения ценностных ориентаций М. Рокича основана на ранжировании испытуемыми представленного списка ценностей, предварительно разделенных автором на два класса: класс терминальных и класс инструментальных ценностей.

К числу терминальных ценностей личности М. Рокич и его последователи отнесли комплекс установок, направленных на осознание личностью того факта, что поставленные ею дальние цели и дальние перспективы жизнедеятельности представляет общую глобальную ценность, к которой нужно стремиться. К числу инструментальных ценностей относятся конкретные установки личности, отражающие ее базовые предпочтения и ближние цели.

Ценностные ориентации и мотивационные установки, связанные с ними, носят нравственно-утилитарный характер. Инструментальные ценности, заданные ближними целями, достигаются традиционными средствами. Они являются стандартными, повседневными, влияющими на формирование ценностно-ориентационного единства в группах студентов. Терминальные ценности складываются таких показателей, как активная и насыщенная жизнь, бережное отношение к здоровью, стремление к выбору интересной профессии и значимой работы, установка на материально-обеспеченную жизнь, желание любить и быть любимым, ценность общественного признания, свободы, создания счастливой семьи, пожелание счастья другим и стремление к личному счастью, ориентация на творчество и др. Инструментальные ценности складываются из таких качественных характеристик, которые являются детерминантами повседневной жизни человека.

К инструментальным ценностям относятся такие показатели, как аккуратность, воспитанность, жизнерадостность, исполнительность, ответственность, терпимость, честность, чуткость, самоконтроль, уважительность и др.

Достоинство методики, предложенной М. Рокичем, состоит в том, что она раскрывает два

класса ценностей, сформированных в сознании и поведении испытуемых, а также позволяет определить перспективные линии развития личности. Эффективность авторской анкеты М. Рокича состоит в том, что она может быть модифицирована другими исследователями в соответствии с динамикой и особенностями общественных событий, что позволяет изучать трансформацию ценностных ориентаций студенческой молодежи, живущей в конкретной или изменяющейся социальной ситуации. При анализе иерархии ценностных ориентаций подростков их можно объединять в конкретные блоки, отражающие ценности самоутверждения, конформизма или альтруизма личности в системе коллективных отношений.

Изложенное выше позволяет сделать ряд выводов и наметить пути дальнейших исследований особенностей ценностных ориентаций студентов. Социальная ситуация, сложившаяся в стране и мире в начале 20-х годов XXI века, оказала влияние на совершенствование ценностных ориентаций как взрослого населения, так и подрастающего поколения. Мировое сообщество пришло к осознанию важности ценностей сохранения здоровья, взаимопомощи, поддержки, нравственного взаимодействия между людьми.

Ценностные ориентации студентов образовательных организаций среднего профессионального образования являются отражением тех настроений и тревог, которые доминируют в обществе. Под ценностными ориентациями следует понимать комплекс доминирующих качеств, определяющий социальные установки личности, выраженные в стремлениях, переживаниях и эмоциональных реакциях. Ценностные ориентации влияют на мотивационные установки, потребности, интересы человека, определяют его избирательное отношение к объектам культуры, к выбору видов деятельности и партнеров по взаимодействию.

Методологическим основанием для исследования ценностных ориентаций личности является педагогическая аксиология – область междисциплинарных исследований, которая выступает смыслообразующим основанием человеческого бытия; она позволяет конкретизировать комплекс категорий, включающих такие аксиологические понятия, как «ценность», «оценка», «потребности», «мотивация достижений», «ценностные ориентации личности», «ценностно-ориентационное единство групп и коллективов» и др.

Педагогическая аксиология находится в преемственной связи с философским и психологическим обоснованием гуманистической концепции, согласно которой ценностные ориентации делятся на два класса: класс объективных ценностей, существующих независимо от человека, и класс субъективных, т. е. личностных ценностей, которые человек осваивает и трансформирует в совместной деятельности и общении с другими людьми.

Опора на методологию аксиологического подхода позволяет рассмотреть ценности как педагогический феномен, который требует выбора эффективных методов изучения взглядов и установок подростков. Основанием для разработки авторской анкеты «Ценностные ориентации современных студентов» послужила адаптированная методика М. Рокича «Ценностные ориентации личности», которая предполагает ранжирование суждений испытуемых в рамках двух классов ценностей, имеющих важное воспитательное значение: терминальных и инструментальных.

Терминальные ценности, отраженные в сознании и поведении студентов образовательных организаций среднего профессионального образования, раскрывают перспективы жизненных смыслов и ценностей общественного признания личности. Инструментальные ценности определяют нравственные характеристики, которые являются детерминантами повседневной жизни, совместной деятельности и межличностных отношений.

#### Список источников

1. Абишева, А.К. О понятии «ценность» / А.К.Абишева // Вопросы философии. -2020. №3. С. 139-146. –Текст: непосредственный.
2. Асташова, Н. А. Концептуальные основы педагогической аксиологии / Н.А. Асташова//Ценностные доминанты современности. - 2020 -№3 –С.77-79 .
3. Барабанщиков, В. А. Экспериментальная психология. / В. А. Барабанщиков// Экспериментальный метод в психологии. Изд-во «Институт психологии РАН». 2019 - №8 2 - С.493-496.
4. Беляев, Г. Ю. Ценности и смыслы / Г.Ю.Беляев// Диалог с современностью. - 2022 -№1 –С.46-49.
5. Беляева, Л. А. Человек и его потребности/Л. А. Беляева//Учебное пособие; Урал. гос. пед. ун-т.- Екатеринбург, 2019 –346 с.
6. Гаязов, Л. С. Образование и образование граждан в современном мире / Л. С. Гаязов//Минск: НИО -2019.- 256 с.
7. Данилюк, А. Я. Концепция духовно-нравственного развития и воспитания личности гражданина России / А. Я. Данилюк// Сфере общего образования. Москва: Просвещение, 2019 – 374с.
8. Зауторова, Э.В. Искусство и формирование нравственно-ценностных ориентаций личности /Э.В.Зауторова // Искусство и образование. – 2018 - № 2 – С. 68-73.
9. Кирьякова, А. В. Взаимосвязь ценностных ориентаций и креативности как аксиологический / А. В. Кирьякова // Ресурс модернизации образования - 2019 - №1. - С. 57-68.

#### Reference

1. Abisheva, A.K. About the concept of "value" /A.K.Abisheva // Questions of philosophy. -2020. No.3. pp. 139-146. –Text: direct.
2. Astashova, N. A. Conceptual foundations of pedagogical axiology / N.A. Astashova//The value dominants of modernity. -2020 -No.3 –pp.77-79 .
3. Barabanshchikov, V. A. Experimental psychology. / V. A. Barabanshchikov// An experimental method in psychology. Publishing house "Institute of Psychology of the Russian Academy of Sciences". 2019 - No. 8 2 - pp.493-496.
4. Belyaev, G. Yu. Values and meanings / G.Yu.Belyaev // Dialogue with modernity. - 2022 -No.1 –pp.46-49.
5. Belyaeva, L. A. Man and his needs / L. A. Belyaeva//Textbook; Ural State Pedagogical Institute. un-T.- Yekaterinburg, 2019 -346 p.
6. Gayazov, L. S. Education and education of citizens in the modern world / L. S. Gayazov//Minsk: NIO -2019.- 256 p.
7. Danilyuk, A. Ya. The concept of spiritual and moral development and upbringing of the personality of a citizen of Russia / A. Ya. Danilyuk // Sphere of general education. Moscow: Prosveshchenie, 2019 – 374с.
8. Zautorova, E.V. Art and the formation of moral and value orientations of personality / E.V.Zautorova // Art and education. – 2018 - No. 2 – pp. 68-73.
9. Kiryakova, A.V. The relationship of value orientations and creativity as axiological / A.V. Kiryakova // Resource for the modernization of education - 2019 - No.1. - pp. 57-68.

Статья поступила в редакцию 18.10.2024

---

**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. Исследование ценностных ориентаций студентов образовательных организаций среднего профессионального образования путем аксиологического подхода как метода перспективной стратегии воспитания// Вестник Луганского государственного университета имени Владимира Даля. – 2024. – № 12(90). – С. 121-127.

**For citation:**

Dimitrieva O. A. Research of value orientations of students of educational institutions of secondary vocational education by using an axiological approach as a method of a promising parenting strategy// Vestnik of Lugansk State University named after Vladimir Dahl. – 2024. – № 12(90). – P. 121-127.

---

УДК 621.928.8 – 036– 768

## ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЗАЩИТЫ АКТИВНОЙ ЧАСТИ ПОДСИСТЕМ СЕПАРАЦИИ, ИНТЕГРИРОВАННЫХ В СИСТЕМУ НЕПРЕРЫВНОГО ТРАНСПОРТА ГИБКОЦЕПНЫМИ ПОЛИМЕРАМИ

Парсентьев О. С.

## ENSURING PROTECTION OF THE ACTIVE PART SEPARATION SUBSYSTEMS INTEGRATED INTO THE SYSTEM CONTINUOUS TRANSPORT BY FLEXIBLE- CHAIN POLYMERS

Parsentev O. S.

**Аннотация.** Приводится обзор существующих типоразмерных рядов отечественных и зарубежных подсистем сепарации, интегрированных в систему непрерывного транспорта. Установлено, что стационарные подсистемы сепарации с подвесными железоотделителями имеют низкую степень очистки многокомпонентных сыпучих средств.

Исследована отечественная технология производства высококоэрцитивных постоянных магнитов (ВКПМ) для магнитных систем железоотделителя, выполненных на основе феррит - бария, феррит - стронция и неодим-железо-бора.

Установлено, что при спекании порошка ВКПМ с термопластами и реактопластами образуются магнетопласты с заданными геометрическими параметрами, физическими и магнитными свойствами, недостатком которых является хрупкость к ударным нагрузкам, происходящим в рабочей области железоотделителя при столкновении, летящих на скорости крупных ферромагнитных тел, вызванных экстрагирующими гироскопическими усилиями в этой области с активной частью подсистемы сепарации.

Для решения перечисленных задач предлагается универсальная модель железоотделителя, работающая в импульсном режиме от интегральных импульсов экстратока в катушечных группах, величина и длительность которых определяется преобразованным цифровым сигналом с магнитометра, активная часть которого защищена в рабочей области от ударов ферромагнитных тел гибкоцепным полимером.

Даны рекомендации для проведения дальнейшей численной оценки разрушающего воздействия ферромагнитных тел (ФТ) при соударениях с активной частью подсистемы сепарации с применением баллистических формул и теории вероятности.

**Ключевые слова:** экстраток, железоотделитель, высококоэрцитивные постоянные магниты, магнитометр, катушечная группа, гибкоцепный полимер, пара - арамидное волокно, взаимная индуктивность, экстрагирующие гироскопические усилия, дополнительный магнитный момент.

**Abstract.** Annotation. An overview of the existing standard-size ranges of domestic and foreign separation subsystems integrated into the continuous transport system is given. It has been established that stationary separation subsystems with suspended iron separators have a low degree of purification of multicomponent bulk materials.

The domestic technology for the production of high-performance permanent magnets (HCPM) for magnetic separator systems based on barium ferrite, strontium ferrite and neodymium-iron-boron is investigated.

It has been established that when sintering HCPM powder with thermoplastics and thermoplastics, magnetoplastics with specified geometric parameters, physical and magnetic properties are formed, the disadvantage of which is brittleness to shock loads occurring in the working area of the iron separator during collisions of large ferromagnetic bodies flying at speed caused by extracting gyroscopic forces in this area with an active part of the separation subsystem.

To solve these problems, a universal model of an iron separator is proposed, operating in a pulsed mode from integrated extracurrent pulses in coil groups, the magnitude and duration of which is determined by a converted digital signal from a magnetometer, the active part of which is protected in the working area from impacts of ferromagnetic bodies by a flexible-chain polymer.

*Recommendations are given for further numerical evaluation of the destructive effects of ferromagnetic bodies (FBs) in collisions with the active part of the separation subsystem using ballistic formulas and probability theory.*

**Key words:** *ecstatically, iron separator, highly coercive permanent magnet, magnetometer, coil group, flexible chain polymer, para-aramid fiber, mutual inductance, extracting gyroscopic forces, additional magnetic moment.*

**Введение.** Подвесной электромагнитный железоотделитель является разновидностью подсистемы сепарации, предназначенной для удаления примесей железа и сростков из синхронизируемого процесса транспортирования сухой многокомпонентной технологической смеси в интегрируемых системах, к которым относится непрерывный транспорт, вибрационные питатели и разгрузочные трубопроводы. Обеспечивает защиту технологического оборудования от деструктивного влияния механических повреждений в промышленных кластерах – металлургической и горнодобывающей отрасли, электроэнергетике, морских портах, керамическом, угольном, стекольном и цементном секторах, в химической, пищевой отраслях и переработке твердых бытовых отходов. Отличается устойчивостью к экстремальным условиям эксплуатации и продолжительной безотказной работой [1]. К преимуществам последних подсистем сепарации следует отнести их вариабельность расположения над резиноканевой грузовой лентой в системе непрерывного транспорта [1].

Для извлечения металлических фрагментов из синхронизируемого транспортируемого материалопотока сухой немагнитной сыпучей смеси серийно выпускаемые подсистемы сепарации генерируют обмотками резко неоднородные магнитные поля с полусферическим распределением в рабочей области интенсивностью 270 – 350 кА/м, которые порождают экстрагирующие гироскопические усилия и дополнительный магнитный момент, направленный против сил этого поля, вырывающий металлические частицы из этого материалопотока с устремлением последних к поверхности полюсов магнитной системы [2]. По окончании процесса очистки материал продолжает дальнейшее движение на грузовой резиноканековой ленте до места пересыпа [2].

К недостаткам таких подсистем сепарации относится:

- сложное конструктивное исполнение и значительные потери электрической энергии, возникающие на ее преобразование для питания электромагнитной системы, в том числе потери, связанные с магнитным рассеянием, возникающие в связи с проведением основного магнитного потока через все пространство

рабочей области, глубина которого в современных отечественных и зарубежных системах достигает до 0,55 – 0,70 м;

- низкая эффективность процесса сепарации при большой влажности многокомпонентного транспортируемого материала;

- нагрев изоляции катушечных групп до температур, превышающих предельно допустимые значения, что значительно снижает ее срок службы;

- сложность технологического процесса изготовления полюсных наконечников, предназначенных для повышения степени неоднородности магнитного поля в рабочей области;

- дополнительная статическая нагрузка на крепежную конструкцию железоотделителя от концентраторов интенсивности магнитного поля (на 25– 40 кг) и дополнительные потери электрической энергии, возникающие при удерживании извлеченных ферромагнитных частиц на его полюсах.

Подсистемы прямой сепарации, в основу которых положена работа высококоэрцитивных постоянных магнитов (ВКПМ), способны удалять мелкодисперсные частицы с минимальным содержанием примеси, размером от 30 мкм из многокомпонентного синхронизируемого транспортируемого потока сыпучего материала. Процесс карбонизации в последнем может существенно утяжелить процесс сепарации, снизить в несколько раз его эффективность. К достоинствам данного класса железоотделителей и магнитных плит следует отнести сохранение постоянства магнитного поля в рабочей области и величины экстрагирующих гироскопических усилий. К существенным недостаткам таких подсистем сепарации на основе ВКПМ следует отнести дороговизну материала

Nd-Fe-B, Sm-Co (неодим-железо-бора и самарий-кобальта) и низкую массу извлекаемых ферромагнитных частиц, в случае выполнения магнитных систем в таких железоотделителях из материала Fe-Ba (феррит - бария) – всего до 10 кг.

Следует учитывать, что технологический процесс изготовления ВКПМ для магнитных плит заключается в соединении оксидов железа ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) с карбонатами бария ( $\text{BaCO}_3$ ) или стронция ( $\text{SrCO}_3$ ), которые прокаливаются до образования феррита. Полученную смесь оксидов подвергают спеканию. Далее смесь оксидов феррит бария

$\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}(\text{BaO}:6\text{Fe}_2\text{O}_3)$  или феррит стронция  $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}(\text{SrO}:6\text{Fe}_2\text{O}_3)$  подвергают измельчению до размера домена – 2,0 мкм, смешиванию с веществом, состоящим из множества мономерных звеньев – термопластом или реактопластом, прессованию и повторному запеканию.

Аналогичным образом производят неодимовые ВКПМ ( $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ ) путем запекания смеси, состоящей из оксидов металлов в печи под высоким давлением и температурой 1200°C.

После изготовления объемная плотность феррит бариевых ВКПМ находится в пределах 5280 кг/м<sup>3</sup>, а у неодимовых ВКПМ – 7400 кг/м<sup>3</sup>, что меньше плотности ферромагнитных предметов, выполненных из конструкционной, стали в 1,07–1,5 раза.

Кроме этого, следует учитывать, что исследуемые в этой статье типы ВКПМ являются хрупкими, и вырвавшиеся на поверхность ферромагнитные частицы (ФЧ) крупной формы из транспортируемого материалопотока сыпучего вещества под действием экстрагирующих гироскопических усилий в рабочей области, преодолев остальную систему сил фундаментального взаимодействия, действующих на тело при соударениях с магнитами, могут нанести последним существенные механические повреждения, разрушив их до основания.

Таким образом, совершенствование научных основ, теоретических и практических исследований, направленных на поиск средств защиты активной части подвесных железоотделителей от деструктивного воздействия ФТ, возникающих при соударениях с активной частью под действием экстрагирующих гироскопических усилий, является актуальной научно-технической задачей.

Для решения этой задачи предлагается активную часть подсистемы сепарации с железоотделителем (рис. 1) покрыть тканевополимерной защитой на основе полипарафенилен-терефталамида с толщиной слоя  $h=30 - 35 \cdot 10^{-3}$  м (рис. 2) и интегрировать в прямоточные и лотковые грузовые резинолентосовые ленты транспортеров с шириной ленты 800 – 1000 мм, движущиеся со скоростью 1,6 – 4,0 м/с для защиты от ударов ФТ в процессе их сепарации [4, 5, 6].

Анализ проведенных расчетов показывает, что выбранная толщина гибкоцепного полимера на основе полипарафенилен-терефталамида обладает необходимым запасом прочности и эластичности для погашения энергии удара от ФЧ и исключает свое влияние на интенсивность магнитного поля в рабочей области сепаратора, так как пара - арамидное волокно не обладает магнитными свойствами.

Железоотделитель работает в импульсном режиме от преобразованного сигнала с магнитометра (рис. 3), генерируя в рабочей области серию интегральных импульсов гироскопических усилий величиной до 1000 Н (рис. 4) и длительностью, не превышающей 1,0 с, для надежного извлечения металлических частиц с транспортируемого материалопотока многокомпонентной сыпучей смеси [4,5], обладает высокой производительностью, избирательностью, за счет чего достигается энергосбережение с невысокими массогабаритными показателями [2].

Принцип работы схемы электроснабжения двухблочного железоотделителя, системы сканирования материалопотока достаточно подробно изложены в работах [4], поэтому здесь не приводятся.

Особенность данной конструкции заключается в том, что с увеличением числа катушечных групп, устанавливаемых вдоль грузонесущей ленты конвейера, можно добиться ступенчатой регулировки величины извлекающих усилий в сторону увеличения в подсистеме сепарации, повышая тем самым эффективность очистки сепарируемого материала.

Для обеспечения качества очистки сыпучего материала от металлических примесей схема электроснабжения двухобмоточного железоотделителя генерирует серию основных интегральных импульсов экстратока величиной до 8000А в катушечных группах, которые создают экстрагирующие гироскопические усилия в рабочей области величиной до 1000 Н [2; 4]. Семейство статических характеристик изменения поля гироскопических усилий  $T_{ЭГ}=f(h)$ , действующих на стальное сферическое тело диаметром  $d=0,073$  м, массой  $m=1,52$  кг, а также скорости удара, сообщаемые данному телу  $V_{ЭГ}=f(h)$  приложенными усилиями, построенные на разных глубинах извлечения в моменты действия основных встречно-направленных импульсов экстратока в катушечных группах, приводятся на рис. 4, а и б.

Анализ представленных зависимостей позволяет сделать заключение о том, что при изменении резко неоднородного магнитного поля в рабочей области в сферическом теле будет создаваться дополнительный магнитный момент, направленный против сил этого поля, который позволит выйти этому телу с высокой начальной скоростью  $V_{ЭГ}$ , преодолеть остальную систему сил в этой области, выйти на поверхность сыпучего слоя и устремиться вверх к полюсам железоотделителя.

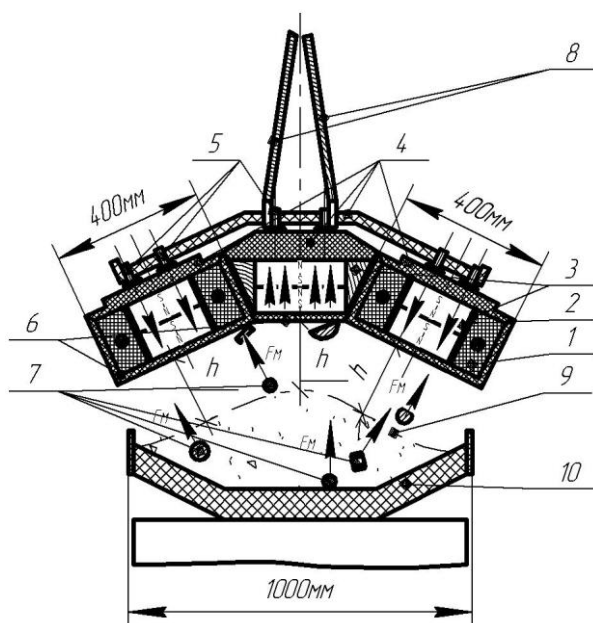


Рис. 1. Схема интеграции двухобмоточного железоотделителя в систему непрерывного транспорта с лотковой грузонесущей лентой: 1) катушечная группа; 2) блоки ВКИМ; 3) каркас из электрокартона для намотки катушечных групп; 4) арматура для фиксации блоков железоотделителя; 5) рым - болты подвеса железоотделителя над грузовой лентой; 6) слой гибкоцепного полимера; 7) металлические частицы; 8) регулировочный трос высоты рабочей области; 9) неочищенная многокомпонентная сыпучая смесь; 10 – резиноватросовая лента



Рис. 2. Структура гибкоцепного полимера на основе пара - арамидного волокна

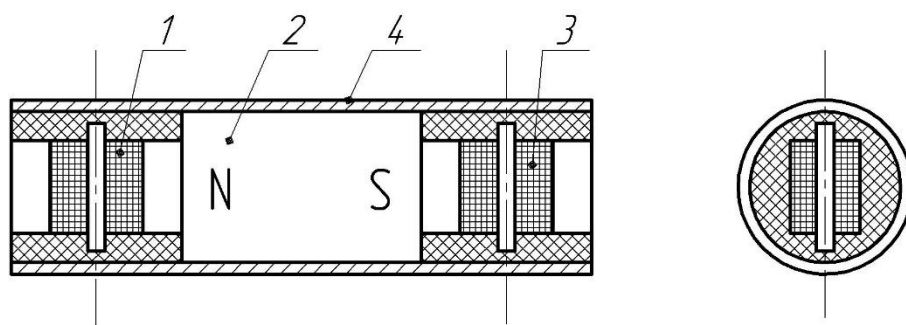


Рис. 3. Феррозондовый магнитометр

1 – возбуждающая катушка; 2 – ВКИМ; 3 – измерительная катушка; 4 – защитный контейнер

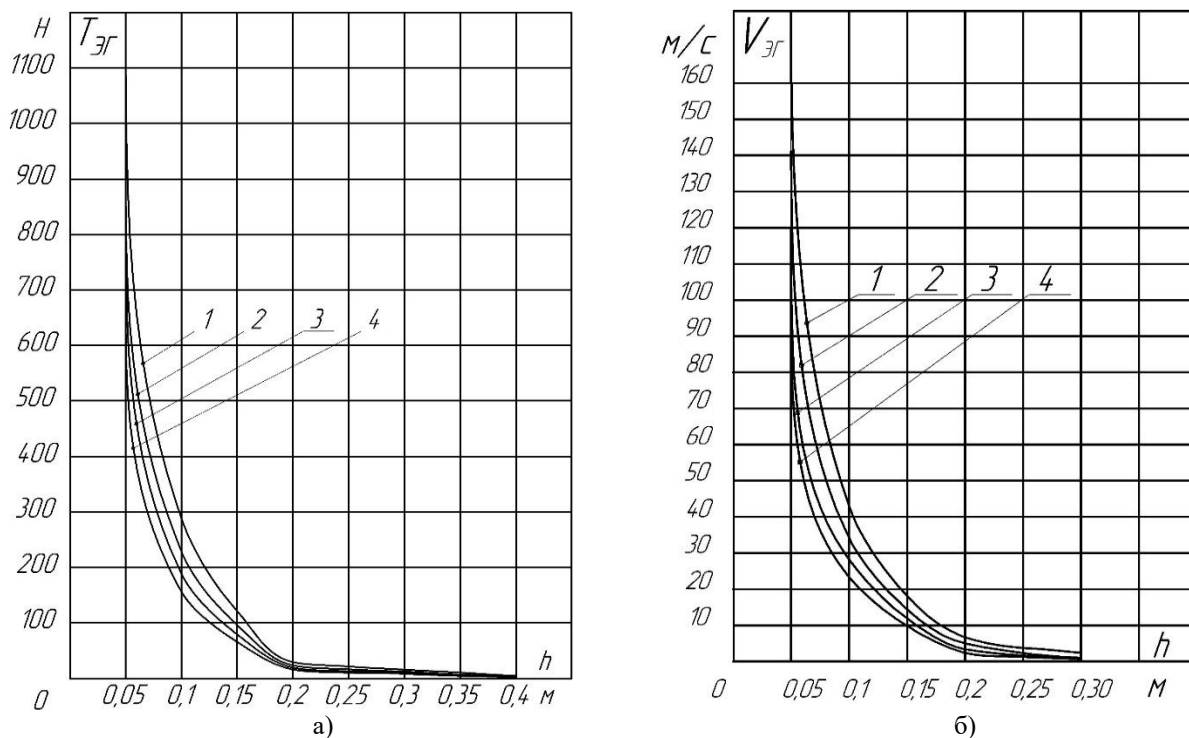


Рис. 4. Семейство статических характеристик изменения поля экстрагирующих гироскопических сил  $T_{ЭГ}=f(h)$ , действующих на сферическое тело с заданными физическими и геометрическими параметрами на разных глубинах рабочей области (а) и скорости извлечения, сообщаемые этому телу приложенными усилиями на разных глубинах (б)  $V_{ЭГ}=f(h)$  [2], построенные в моменты времени действия основных встречно-направленных импульсов экстрактора в катушечных группах железоотделителя: 1.  $t_{\max}=0,064$  с; 2.  $t_1=0,2$  с; 3.  $t_2=0,3$  с; 4.  $t_3=0,4$  с

Реализация эксперимента по исследованию механической прочности защиты активной части двухблочного железоотделителя на базе ГУП ЛНР «ГПКИ ОО «Гипромашуглеобогащение» позволила сделать вывод, что использование гибкоцепного полимера на основе пара - арамидного волокна толщиной 30 мм предотвратило преждевременное разрушение ВКПМ в данной подсистеме сепарации от ударов ферромагнитного тела сферической формы. Однако на поверхности блока ВКПМ в месте удара стальной сферой наблюдались поверхностные дефекты, что достоверно подтверждает гипотезу о разрушающем воздействии скорости на активную часть железоотделителя.

**Выводы.** 1. Впервые предложена гибкоцепная защита активной части двухблочного железоотделителя, в основу которой положено пара - арамидное волокно с определенной толщиной слоя от ударов стальными ферромагнитными телами и сrostками, когда вероятность их появления на входе в рабочую область подсистемы сепарации описывается законом редких событий с распределением Пуассона [2,4].

2. С изменением угла взаимного расположения катушечных групп в пространстве  $\theta$  в предлагаемой конструкции двухблочного

железоотделителя [2,4] можно регулировать величину взаимной индуктивности в определенном диапазоне, возникающую между данными группами, в том числе величину экстрагирующих гироскопических усилий, действующих на стальные ферромагнитные тела в рабочей области, возникающих в результате действия серии встречно-направленных интегральных импульсов экстрактора в обмотках, а также порождаемые этими усилиями скорости извлечения ферромагнитных тел.

3. Для определения степени разрушения защитного слоя активной части подсистемы сепарации с одним и двумя блоками КЖ при ударе об него стальной сферы, летящей на скорости, сообщаемой последней экстрагирующими гироскопическими усилиями, порождаемыми серией встречно-направленных интегральных импульсов экстрактора в обмотках, имеющих гальваническую и магнитную связь, необходимо проведение баллистических расчетов с применением формул Фэйрбэрна и Рэля.

#### Список источников

1. Yue yang Dalishen Electromagnetic Machinery Co. Ltd/ Продукция/ Магнитный сепаратор, электромагнитный железоотделитель, кабельный барабан// [Электронный ресурс]. – URL: <https://yydls.com> (дата обращения 03.06.2025 года).

2. Парсентьев О.С. Ресурсосберегающая магнитная сепарация на непрерывном транспорте: монография/ Парсентьев О.С. – Луганск: Изд-во ЛГУ им. В. Даля, 2021. – 180 с. (In Russian)

3. Шаллер, Джордж Э. Обработка феррита и ее влияние на эксплуатационные характеристики материала

([https://translated.turbopages.org/proxy\\_u/en-ru.ru.d6230c85-67e8fb16-d3a7d86d-74722d776562/www.cmi-ferrite.com/news/Articles/ferpro.pdf](https://translated.turbopages.org/proxy_u/en-ru.ru.d6230c85-67e8fb16-d3a7d86d-74722d776562/www.cmi-ferrite.com/news/Articles/ferpro.pdf))

заархивировано

([https://translated.turbopages.org/proxy\\_u/en-ru.ru.d6230c85-67e8fb16-d3a7d86d-74722d776562/https://web.archive.org/web/20131002224413/http://www.cmi-ferrite.com/news/Articles/ferpro.pdf](https://translated.turbopages.org/proxy_u/en-ru.ru.d6230c85-67e8fb16-d3a7d86d-74722d776562/https://web.archive.org/web/20131002224413/http://www.cmi-ferrite.com/news/Articles/ferpro.pdf))

2013-10-02 на

сайте Wayback Machine

4. Парсентьев О.С. Очистка немагнитных многокомпонентных сред, перемещаемых на конвейерах методом прямой сепарации// Изв. Вузов. Электромеханика. 2024. Т. 67. №1. С. 63 - 74. [Электронный ресурс]: Режим доступа: <https://doi.org/10/17213/0136-3360-2024-1-63-74>. – EDN WPXSIO.

5. Парсентьев О. С., Мусаев Т. А. Обеспечение качества очистки многокомпонентных сред, перемещаемых ленточными конвейерами энергосберегающим импульсным магнитным извлечением // Омский научный вестник. 2024. № 1 (189). С. 86 - 92. DOI: 10.25206/1813-8225-2024-189-86-92. – EDN PIMKQO.

6. Лисов, О. Кевлар – перспективный материал военного назначения // Зарубежное военное обозрение, 1986. – № 2. – С. 89 - 90.

## References

1. Yueyang Dalishen Electromagnetic Machinery Co. Ltd / Products/ Magnetic separator, electromagnetic iron separator, cable drum// [Electronic resource]. – URL: <https://yydls.com> (accessed 03.06.2025).

2. Parsentev O.S. Resource-saving magnetic separation in continuous transport: a monograph/ Parsentev O.S. – Lugansk: Publishing House of the Leningrad State University named after V. Dahl, 2021. 180 p. (In Russian)

3. Schaller, George E. Ferrite processing and its effect on material performance ([https://translated.turbopages.org/proxy\\_u/en-ru.ru.d6230c85-67e8fb16-d3a7d86d-74722d776562/www.cmi-ferrite.com/news/Articles/ferpro.pdf](https://translated.turbopages.org/proxy_u/en-ru.ru.d6230c85-67e8fb16-d3a7d86d-74722d776562/www.cmi-ferrite.com/news/Articles/ferpro.pdf))

заархивировано

([https://translated.turbopages.org/proxy\\_u/en-ru.ru.d6230c85-67e8fb16-d3a7d86d-74722d776562/https://web.archive.org/web/20131002224413/http://www.cmi-ferrite.com/news/Articles/ferpro.pdf](https://translated.turbopages.org/proxy_u/en-ru.ru.d6230c85-67e8fb16-d3a7d86d-74722d776562/https://web.archive.org/web/20131002224413/http://www.cmi-ferrite.com/news/Articles/ferpro.pdf))

2013-10-02 на

сайте Wayback Machine.

4. Parsentev O.S. Purification of non-magnetic multicomponent media transported on containers by direct separation method// Izv. Vuzov. Electromechanics. 2024. Vol. 67. No. 1. P. 63 - 74. [Online]. Available at: <https://doi.org/10/17213/0136-3360-2024-1-63-74> 3. – EDN WPXSIO. (In Russian)

5. Parsentev O. S., Musaev T. A. Ensuring the quality of purification of multicomponent media transported by belt conveyors by energy-saving pulsed magnetic attraction // Omsk Scientific Bulletin. 2024. No. 1 (189). P. 86 - 92. DOI: 10.25206/1813-8225-2024-189-86-92. – EDN PIMKQO. (In Russian).

6. Lisov, O. Kevlar – promising military material // Foreign Military Review, 1986, No. 2. P. 89-90.

*Статья поступила в редакцию 09.11.2024*

## 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. Обеспечение защиты активной части подсистем сепарации, интегрированных в систему непрерывного транспорта гибкоцепными полимерами // Вестник Луганского государственного университета имени Владимира Даля. – 2024. – № 12(90). – С. 128-133.

## For citation:

Parsentev O.S. Ensuring protection of the active part separation subsystems integrated into the system continuous transport by flexible-chain polymers // Vestnik of Lugansk State University named after Vladimir Dahl. – 2024. – № 12(90). – P. 128-133.

**ВЕСТНИК ЛУГАНСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА  
имени ВЛАДИМИРА ДАЛЯ»  
№ 12 (90) 2024**

**НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ**

|                |                                                        |
|----------------|--------------------------------------------------------|
| Лит.редактор   | <i>Минина Я.В.<br/>Рудник Ю.В.<br/>Паталахина Е.А.</i> |
| Тех.редактор   | <i>Коломиец-Кириллова Е.А.</i>                         |
| Оригинал-макет | <i>Гриниченко А.Е.</i>                                 |

---

Подписано в печати 27.06.2025.  
Формат 60x84/8. Бумага офсетная. Гарнитура Times  
Условных печатных стр. 23,61. Тираж 100 экз. Изд. № 01525.

---

**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