

# ЖИЛИЩНОЕ ХОЗЯЙСТВО и коммунальная инфраструктура

№ 2(17), 2021

Воронежский государственный технический университет



*Строительные конструкции,  
здания и сооружения*

*Экология и безопасность  
городской среды*

*Градостроительство.  
Реконструкция, реставрация  
и благоустройство*

*Экономика и организация  
строительства*

*Инженерные системы  
и коммуникации*

*Дорожно-транспортное  
хозяйство  
и строительная техника*

**НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ**

**ЖИЛИЩНОЕ ХОЗЯЙСТВО  
и коммунальная инфраструктура**

**№ 2(17), 2021**

**ПО ВОПРОСАМ  
РАЗМЕЩЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ СТАТЕЙ  
ОБРАЩАТЬСЯ В РЕДАКЦИЮ  
НАУЧНОГО ЖУРНАЛА**

**ЖИЛИЩНОЕ ХОЗЯЙСТВО  
и коммунальная инфраструктура**

**Адрес редакции:**

394006, Россия

г. Воронеж,

ул. 20-летия Октября, дом 84, корп. I, ауд. 1326;

тел. (473) 271-28-92;

E-mail: [vstu.gkh@gmail.com](mailto:vstu.gkh@gmail.com)



ISSN 2541-9110



Научный журнал  
Воронежского государственного  
технического университета  
**Жилищное хозяйство  
и коммунальная  
инфраструктура**



Издается с 2017 года

Учредитель и издатель:

**Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Воронежский государственный технический университет»**

*Адрес издателя и учредителя:* 394006, Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84

Территория распространения – **Российская Федерация,  
зарубежные страны**

*Выходит 4 раза в год*

Журнал входит в перечень рецензируемых научных изданий,  
в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций  
на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук

**Журнал публикует материалы по следующим разделам:**

- ✓ Строительные конструкции, здания и сооружения
- ✓ Инженерные системы и коммуникации
- ✓ Градостроительство. Реконструкция, реставрация и благоустройство
- ✓ Экология и безопасность городской среды
- ✓ Дорожно-транспортное хозяйство и строительная техника
- ✓ Экономика и организация строительства

Журнал размещен на сайте Научной электронной библиотеки, текст статьи подвергается проверке на уникальность.

Перепечатка материалов журнала без разрешения редакции запрещена, ссылки на журнал при цитировании обязательны.

Воронеж



ISSN 2541-9110

Scientific journal  
Voronezh State Technical University  
**Housing  
and utilities infrastructure**



Published 2017

---

Founder and publisher:

**Federal state budgetary educational establishment  
«Voronezh State Technical University»**

*Address of publisher and founder:* 84, 20-letiya Oktyabrya str., Voronezh, 394006

The territory of distribution – **Russian Federation,  
foreign countries**

*Comes out 4 times per annum*

The Journal is included in the “List of reviewed scientific publications”,  
in which the main scientific results of the dissertations  
for the ‘Degree of Candidate of Science’ and for the ‘Degree of Doctor of Science’

**Journal publishes materials on the following topics:**

- ✓ Construction designs, buildings and constructions
- ✓ Engineering systems and communications
- ✓ Reconstruction, restoration and landscaping
- ✓ Environment and safety of the urban environment
- ✓ Road transport agriculture and construction equipment
- ✓ Economics and organization of construction

The journal is placed on the website of the Scientific Electronic Library, the text of the article is checked for uniqueness.

Reprint of the journal without the permission of the publisher is prohibited, links to journal when quoting.

**Voronezh**

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

**Главный редактор – Яременко Сергей Анатольевич**, декан факультета инженерных систем и сооружений (Воронежский государственный технический университет)

**Сазонов Э. В.**, д-р техн. наук, профессор, зам. главного редактора (Воронежский государственный технический университет)

**Баранников Н. И.**, д-р техн. наук, профессор, зам. главного редактора (Воронежский государственный технический университет)

**Арушанов М. Л.**, д-р физ.-мат. наук, профессор, действительный член Нью-Йоркской Академии наук (Среднеазиатский научно-исследовательский Институт им. В.А. Бугаева, г. Ташкент)

**Аверкин А. Г.**, д-р техн. наук, профессор (Пензенский государственный университет архитектуры и строительства)

**Блех Е. М.**, д-р экон. наук, профессор (Институт отраслевого управления РАНХиГС), г. Москва

**Бодров М. В.**, д-р техн. наук, профессор (Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет)

**Бондарев Б. А.**, д-р техн. наук, профессор (Липецкий государственный технический университет)

**Ветрова Н. М.**, д-р техн. наук, профессор (Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, г. Симферополь)

**Гришин Б. М.**, д-р техн. наук, профессор (Пензенский государственный университет архитектуры и строительства)

**Зайцев О. Н.**, д-р техн. наук, профессор (Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, г. Симферополь)

**Зиганшин А. М.**, канд. техн. наук, доцент, зам. директора по научной работе Института строительных технологий и инженерно-экологических систем (Казанский государственный архитектурно-строительный университет)

**Ежов В. С.**, д-р техн. наук, профессор (Юго-Западный государственный университет, г. Курск)

**Касьянов В. Ф.**, д-р техн. наук, профессор, член-корреспондент жилищной академии РФ, заслуженный работник высшей школы, почетный работник высшего образования, почетный строитель России, почетный строитель Москвы, почетный работник ЖКХ РФ, НИУ МГСУ, г. Москва

**Козлов В. А.**, д-р физ.-мат. наук, профессор (Воронежский государственный технический университет)

**Кононова М. С.**, канд. техн. наук, доцент (Воронежский государственный технический университет)

**Король Е. А.**, д-р техн. наук, профессор, член-корреспондент РААСН, Почетный строитель России, академик РИА, член РОИС (Московский государственный строительный университет)

**Леденев В. И.**, д-р техн. наук, профессор (Тамбовский государственный технический университет)

**Маилян Л. Р.**, д-р техн. наук, профессор, член-корреспондент РААСН, г. Ростов-на-Дону

**Москвичева Е. В.**, д-р техн. наук, профессор (Волгоградский государственный технический университет)

**Опарина Л. А.**, д-р техн. наук, доцент (Ивановский государственный политехнический университет)

**Романова А. И.**, д-р экон. наук, профессор, директор Института дополнительного профессионального образования, член-корреспондент Международной академии инвестиций и экономики строительства, почетный работник ВПО РФ, Казань

**Савин К. Н.**, д-р экон. наук, д-р техн. наук, профессор, почетный работник ЖКХ России, почетный работник Высшего профессионального образования РФ, руководитель направления ЖКХ (Тамбовский государственный технический университет)

**Столбушкин А. Ю.**, д-р техн. наук, профессор (Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк)

**Уваров В. А.**, д-р техн. наук, профессор (Белгородский государственный технологический университет имени В. Г. Шухова)

**Шибалева М. А.**, д-р экон. наук, профессор (Воронежский государственный технический университет)

**Щукин О. С.**, д-р экон. наук, профессор (Воронежский государственный университет)

**Эвнев В. А.**, д-р техн. наук, профессор, декан инженерно-технологического факультета (Калмыцкий государственный университет, г. Элиста)

*Ответственный секретарь – Жерлыкина Мария Николаевна*, канд. техн. наук, доцент кафедры жилищно-коммунального хозяйства (Воронежский государственный технический университет)

*Редакторы:* Кононова М. С., Жерлыкина М. Н.

*Дизайн обложки* Якубенко А. В. *Фото обложки* Толоконников К. П.

*Редактор перевода* Козлова В.В.

Подписной индекс «Объединенный каталог. Пресса России» – 81025

Дата выхода в свет 03.06.2021. Усл. печ. л. 13,6. Формат 60×84/8. Тираж 500 экз. Заказ №

Свидетельство о регистрации ПИ № ФС 77 – 69631

выдано Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор)

Цена свободная

**Адрес редакции:** 394006, Россия, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, дом 84, ком. 1326;  
тел. (473) 271-28-92; e-mail: vstu.gkh@gmail.com.

**Отпечатано:** отдел оперативной полиграфии издательства ВГТУ  
394006, Россия, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, дом 84

EDITORIAL BOARD

**Editor-in-Chief – Yaremenko Sergey Anatolevich**, dean of faculty engineering systems and structures (Voronezh State Technical University)

**Sazonov E. V.**, Dr. Sc. (Technical), Prof., Deputy chief editor (Voronezh State Technical University)

**Barannikov N. I.**, Dr. Sc. (Technical), Prof., Deputy chief editor (Voronezh State Technical University)

**Arushanov M. L.**, Dr. Sc. (Physics and Mathematics), Prof., Full member of the New-York Academy of Sciences (Central scientific research Institute named after V. A. Bugaev, Tashkent)

**Averkin A. G.**, Dr. Sc. (Technical), Prof. (Penza state University of architecture and construction)

**Blekh E. M.**, Dr. Sc. (Economics), Prof. (Institute Branch Management RANEPa), Moscow

**Bodrov M. V.**, Dr. Sc. (Technical), Prof. (Nizhny Novgorod state University of Architecture and Construction)

**Bondarev B. A.**, Dr. Sc. (Technical), Prof. (Lipetsk State Technical University)

**Vetrova N. M.**, Dr. Sc. (Technical), Prof. (Federal State Autonomous educational institution «Crimean Federal University named after V. I. Vernadsky», Simferopol)

**Grishin B. M.**, Dr. Sc. (Technical), Prof. (Penza state University of architecture and construction)

**Zaitsev O. N.**, Dr. Sc. (Technical), Prof. (Federal State Autonomous educational institution «Crimean Federal University named after V. I. Vernadsky», Simferopol)

**Ziganshin A. M.**, Cand. Sc. (Technical), associate Prof. (Kazan State University of Architecture and Civil Engineering)

**Ezhov V. S.**, Dr. Sc. (Technical), Prof. (South-West State University)

**Kas'yanov V. F.**, Dr. Sc. (Technical), Prof., corresponding member of the housing Academy of the Russian Federation, honored worker of higher school, honored worker of higher education, honorary Builder of Russia, honorary Builder of Moscow, honorary worker of housing and communal services of the Russian Federation, National research Moscow state University of civil engineering (Moscow state University of civil engineering)

**Kozlov V. A.**, Dr. Sc. (Physics and Mathematics), Prof. (Voronezh State Technical University)

**Kononova M. S.**, Cand. Sc. (Technical), associate Prof. (Voronezh State Technical University)

**Korol' E. A.**, Dr. Sc. (Technical), Prof., corresponding member of RAACN, honored Builder of Russia, the academician of RIA, member of ROIS (Moscow State University of Civil Engineering)

**Ledenev V. I.**, Dr. Sc. (Technical), Prof. (Tambov State Technical University)

**Mailyan L. R.**, Dr. Sc. (Technical), Prof., corresponding member of RAASN (Association «Association builders of southern and North Caucasus districts»)

**Moskvicheva E. V.**, Dr. Sc. (Technical), Prof. (Volgograd State Technical University)

**Oparina L. A.**, Dr. Sc. (Technical), associate Prof. (Ivanovo State Polytechnic University)

**Romanova A. I.**, Dr. Sc. (Economics), Prof., Director Institute of Continuing Professional Education, Corresponding Member International Academy of Investments and Construction Economics, Honorary Worker Higher Professional Education of Russian Federation (Kazan State University of Architecture and Civil Engineering)

**Savin K. N.**, Dr. Sc. (Technical), Dr. Sc. (Economics), Prof., Honorary Worker of Housing and Public Utilities of Russia, Honorary Worker of the Higher Professional Education of the Russian Federation, Head of the Housing and Utilities Sector (Tambov State Technical University)

**Stolboushkin A. Yu.**, Dr. Sc. (Technical), Prof. (Siberian State Industrial University, Novokuznetsk)

**Uvarov V. A.**, Dr. Sc. (Technical), Prof. (Belgorod Shukhov State Technological University)

**Shibaeva M. A.**, Dr. Sc. (Economics), Prof. (Voronezh State Technical University)

**Schukin O. S.**, Dr. Sc. (Economics), Prof. (Voronezh State University)

**Eview V. A.**, Dr. Sc. (Technical), Prof. (Calmic State University, Elista)

*Executive Secretary – Zherlykina Mariya Nikolaevna*, Cand. Sc. (Technical), associate Professor of the Department of housing and communal services (Voronezh State Technical University)

*Editors: Kononova M. S., Zherlykina M. N.*

*Cover design Yakubenko A. V. Photo cover Tolokonnikov K. P.*

*Translation editor Kozlova V. V.*

Subscription index «Combined catalog. Press of Russia» – 81025

Date of publication 03.06.2021. Conventional printed sheets 13,6. Format 60×84/8. Circulation 500 copies. Order

Registration certificate ПИ № ФС 77 – 69631

issued by the Federal service for supervision of communications, information technology and mass communications

Price free

**The Address of editorial Office:** 84 20-letiya Oktyabrya str., Voronezh, 394006, Russian Federation; phone: (473) 271-28-92; e-mail: vstu.gkh@gmail.com.

**Printed:** department operative polygraphy publishings VSTU  
84 20-letiya Oktyabrya str., Voronezh, 394006, Russian Federation

## СОДЕРЖАНИЕ

### СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ

*Уткин В. С., Сушев Л. А., Соловьев С. А.*

Уточнение расчета осадки висячей сваи с уширением  
при центральном сжатии в грунте основания .....9

### ИНЖЕНЕРНЫЕ СИСТЕМЫ И КОММУНИКАЦИИ

*Киреев В. М., Минко В. А., Гринченко А. С., Киреев В. Е.*

К возможности использования общеобменной приточной системы вентиляции  
в качестве воздушной завесы .....17

*Бранфилева А. Н.*

Оценка эффективности энергоаудита системы теплоснабжения  
учебного корпуса № 1 САМГТУ .....25

*Гульбинас А. С., Широкова Д. Н.*

Совершенствование светотехнического режима в помещениях  
муниципальных дошкольных организаций с целью повышения энергоэффективности .....37

*Мионов В. В., Жернаков Е. А., Иванюшин Ю. А., Мионов Д. В.*

Исследование опытных образцов устройств получения пресной воды  
для автономного водоснабжения с использованием солнечной энергии .....48

### ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО. РЕКОНСТРУКЦИЯ, РЕСТАВРАЦИЯ И БЛАГОУСТРОЙСТВО

*Барзенкова П. А., Васильева М. А., Воробьева Ю. А., Волох А. С.*

Анализ градостроительных аспектов размещения образовательных  
организаций на примере Воронежа .....59

### ЭКОЛОГИЯ И БЕЗОПАСНОСТЬ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ

*Попов Б. А., Хахулина Н. Б., Драпалюк Н. А.*

О методике дистанционного мониторинга светового загрязнения городов .....66

*Агакишиев Р. А., Журавлева И. В., Злобина Н. Н.*

Оценка эффективности технологического комплекса «Арконлос»  
для очистки фильтрата полигонов ТБО .....76

### ДОРОЖНО-ТРАНСПОРТНОЕ ХОЗЯЙСТВО И СТРОИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

*Сотникова О. А., Рязанцева Е. А., Шенс Р. А.*

Учет экологического воздействия автотранспорта при реализации  
проекта «Умный город» .....86

### ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА

*Вербин В. Ю., Дудин В. М.*

Экономическое обоснование выбора технологии холодного ресайклинга  
при ремонте автомобильных дорог и улиц .....92

*Савин К. Н., Шеломенцев А. В., Джабиев В. В., Коробова О. В.*

Экономические показатели развития электроэнергетического комплекса  
республики Южная Осетия .....101

*Шарова А. С., Вахрушев С. И.*

Оценка эффективности моделирования календарного планирования  
комплексной механизации монтажных работ каркаса здания .....109

**ПРАВИЛА НАПИСАНИЯ И ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЕЙ .....116**

## CONTENTS

### BUILDING CONSTRUCTION, BUILDINGS AND STRUCTURES

*Utkin V. S., Sushev L. A., Solovov S. A.*

Refinement of settlement calculation in under-reamed friction piles under axial compression in the soil base.....9

### ENGINEERING SYSTEMS AND COMMUNICATIONS

*Kireev V. M., Minko V. A., Grinchenko A. S., Kireev V. E.*

On the possibility of using forced supply ventilation system as an air curtain.....17

*Branfileva A. N.*

Assessment of energy audit efficiency in the heat supply system of the educational building no. 1 (Samara State Technical University).....25

*Gulbinas A. S., Shirokova D. N.*

Improving lighting regime in premises of municipal preschool educational institutions with the purpose of increasing energy efficiency.....37

*Mironov V. V., Zhernakov E. A., Ivanyushin Yu. A., Mironov D. V.*

Analysis of experimental samples of devices for producing fresh water for autonomous water supply system using solar energy.....48

### CITY. RECONSTRUCTION, RESTORATION AND LANDSCAPING

*Barzenkova P. A., Vasilyeva M. A., Vorob'eva Yu. A., Volokh A. S.*

Analysis of urban planning aspects of educational organizations distribution on the example of Voronezh City.....59

### ECOLOGY AND SAFETY OF THE URBAN ENVIRONMENT

*Popov B. A., Khakhulina N. B., Drapalyuk N. A.*

On technology of remote monitoring of light pollution in cities.....66

*Agakishiev R. A., Zhuravleva I. V., Zlobina N. N.*

An effective way to eliminate the environmental impact the leachate of solid waste landfills on the geosphere.....76

### ROAD TRANSPORT, AGRICULTURE AND CONSTRUCTION MACHINES

*Sotnikova O. A., Ryazantseva E. A., Sheps R. A.*

Sustainable development of territories and its environmental component in the implementation of the Smart City project.....86

### ECONOMICS AND ORGANIZATION OF CONSTRUCTION

*Verbin V. Yu., Dudin V. M.*

Economic justification of the cold recycling technology choice in the repair of highway and road surfaces.....92

*Savin K. N., Shelomentsev A. V., Jabiev V. V., Korobova O. V.*

Economic indicators of electric power complex development of the republic of South Ossetia.....101

*Sharova A. S., Vakhrushev S. I.*

Effectiveness evaluation in modeling technology of complex mechanization scheduling in erection procedure of the building frame.....109

**WRITING RULES AND GUIDELINES.....116**

## **СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ** **BUILDING CONSTRUCTION, BUILDINGS AND STRUCTURES**

УДК 624.154

### **УТОЧНЕНИЕ РАСЧЕТА ОСАДКИ ВИСЯЧЕЙ СВАИ С УШИРЕНИЕМ ПРИ ЦЕНТРАЛЬНОМ СЖАТИИ В ГРУНТЕ ОСНОВАНИЯ**

**В. С. Уткин, Л. А. Сушев, С. А. Соловьев**

Уткин Владимир Сергеевич, д-р техн. наук, профессор кафедры промышленного и гражданского строительства, ФГБОУ ВО «Вологодский государственный университет», Вологда, Российская Федерация, тел.: +7(8172)53-35-31; email: utkinvogtu@mail.ru

Сушев Леонид Андреевич, аспирант кафедры промышленного и гражданского строительства, ФГБОУ ВО «Вологодский государственный университет», Вологда, Российская Федерация, тел.: +7(8172)53-35-31; email: susheveo@yandex.ru

Соловьев Сергей Александрович, канд. техн. наук, доцент кафедры промышленного и гражданского строительства, ФГБОУ ВО «Вологодский государственный университет», Вологда, Российская Федерация, тел.: +7(8172)53-35-31; email: solovevsa@vogu35.ru

В статье рассматривается расчетная схема работы висячей сваи с уширением с учетом нового подхода к описанию распределения сил трения-сцепления по боковой поверхности сваи. На этой основе представлен новый метод расчета осадки сваи, вызываемой упругими деформациями материала сваи. Выявлено снижение значений осадки висячей сваи за счет упругих деформаций по новой расчетной формуле, по сравнению со значениями осадки сваи, полученными по СП 24.13330.2011. Снижение упругой осадки сваи достигается путем учета сил трения-сцепления по боковой поверхности сваи. Предложенный подход позволит обоснованно снизить стоимость свайных конструкций при определении их работоспособности значением осадки сваи особенно при большой длине сваи, полых сваях и сваях из материала с малым модулем упругости.

**Ключевые слова:** висячая свая; уширение сваи; осадка; упругие деформации; центральное сжатие.

Уточнение расчетных схем несущих элементов строительных конструкций является одним из направлений реализаций требований Федерального Закона №384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» в части обеспечения механической (конструкционной) безопасности зданий и сооружений.

В соответствии с СП 24.1330.2011(2019) «Свайные фундаменты», висячие сваи рассчитываются по первой и второй группам предельных состояний. В предлагаемой работе (статье) рассматривается расчет сваи по второй группе предельных состояний – по осадке, применительно к висячим сваям с уширением при центральном сжатии.

По СП 24.13330.2011 расчет по осадке сваи с уширенной пятой производится по формуле:

$$S = \frac{0,22N}{G_2 D_b} + \frac{Nl}{EA}, \quad (1a)$$

где первое слагаемое рассматривает сваю как абсолютно твердое тело, а второй член правой части формулы представляет собой укорочение сваи в результате упругих деформаций материала сваи от действия сжимающей нагрузки  $N$  на сваю длиной  $l$  с площадью поперечного сечения  $A$ ;  $E$  – модуль упругости материала сваи.

С учетом изменений от 2019 года, формула для расчета осадки сваи в СП 24.13330.2011(2019) принимает вид:

$$S = \frac{1-\nu_2}{G_2 D_b} + \frac{Nl}{EA}, \tag{16}$$

где  $\nu_2$  – коэффициент Пуассона грунта под уширением сваи.

Однако второй член остался без изменения.

Роль грунта в осадке сваи во втором слагаемом (1) отсутствует, не учитывается влияние реакции на уширение, силы трения-сцепления и т.д.

По второй группе предельных состояний должно выполняться условие  $S \leq S_u$ , где  $S_u$  – предельное значение осадки сваи, устанавливаемое нормами. В работе [1] укорочение сваи без уширения определяется исходя из закона Гука по формуле  $\Delta l = l \frac{\Delta \sigma}{E_{\text{мат}}}$ , где  $l$  – длина сваи;  $\Delta \sigma$  – разность напряжений на оголовке сваи и на ее пяте;  $E_{\text{мат}}$  – модуль упругости материала сваи.

В работе [2] упругое сжатие буронабивной сваи большого диаметра определяется по формуле  $S_1 = \frac{2Nl}{5EA}$ . Численное моделирование осадки висячей сваи с уширением можно найти в работе [3]. В [4] предложен модифицированный метод граничных элементов для описания работы сваи с уширением в однородном грунте основания. Оптимизация конструкций свай с уширением с использованием численного моделирования рассмотрена в работе [5].

В расчетной формуле (16), второй член, представляющий упругое укорочение сваи, получен от сжатия сваи расчетной нагрузкой  $N$  и веса сваи без учета других воздействий на сваю и влияния уширения сваи. В действительности на сваю, кроме нагрузки  $N$  воздействуют силы трения-сцепления  $f(x)$  и  $f_{\text{отр}}(x)$  на боковой поверхности сваи и реакция  $N_{\text{уш}} = \sigma_{\text{сп}} A$  на нижнем конце стержня сваи. На рис. 1 представлена по [6, 7, 8] расчетная схема сваи с уширением и воздействия на нее, а так же эпюры деформаций  $\varepsilon(x)$  и бокового давления грунта  $q(x)$ . На поверхности сваи показаны силы трения-сцепления  $f(x)$  и отрицательные силы трения-сцепления  $f_{\text{отр}}(x)$ , вызванные реакцией от уширения в контакте с грунтом.

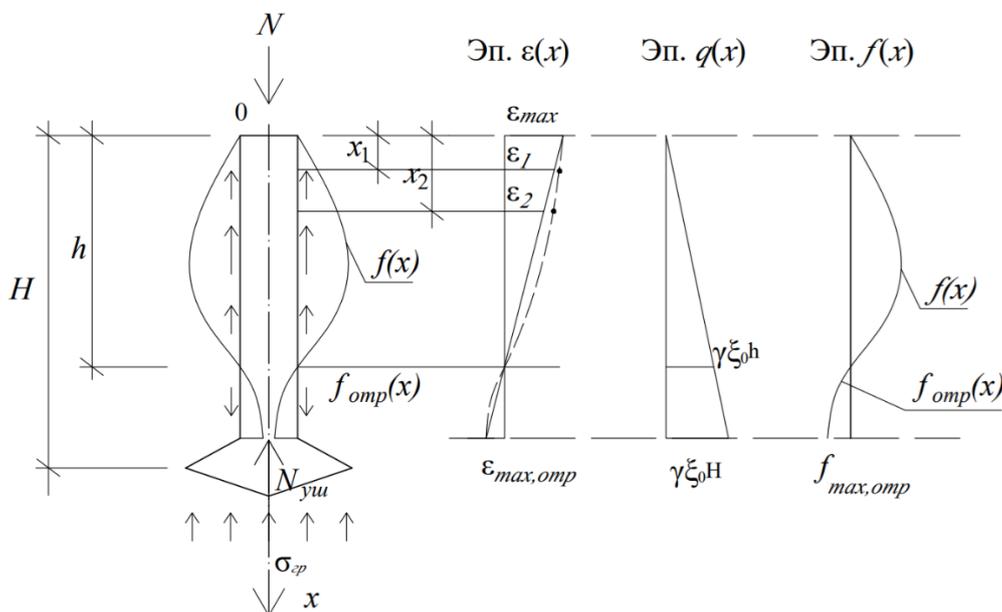


Рис. 1. Расчетная схема сваи с уширением.

Эпюры деформаций  $\varepsilon(x)$ , давления  $q(x)$  и сил трения-сцепления  $f(x)$  и  $f_{\text{отр}}(x)$

Предлагается рассмотреть более подробно описание формирования расчетной формулы осадки сваи по второму члену формулы (1) в грунте основания. По результатам испытаний пробной сваи с измерениями деформаций  $\varepsilon$  материала сваи в двух и более любых сечениях, например с координатами  $x_1$  и  $x_2$  методом тензометрирования [5], выявляются значения  $\varepsilon_1$  и  $\varepsilon_2$  при нагрузке  $N$  и деформация  $\varepsilon_{\max} = \frac{N}{AE}$  в вершине сваи и по их значениям подбирается функция эпюры деформаций  $\varepsilon(x)$ . По уравнению деформаций по длине сваи  $\varepsilon(x)$  из условия  $\varepsilon(x) = 0$  находят значение  $x = h$ .

Для упрощения расчетов и уменьшения объема работ по измерению деформаций методом тензометрирования на более сложном нижнем участке сваи длиной  $H-h$ , криволинейную эпюру  $\varepsilon(x)$  на участке сваи длиной  $h$  заменяем прямолинейной в запас надежности сваи (по критерию осадки), что допускается принимать в расчетах по п. 7.1.2. СП 24.13330.2011, и в силу непрерывности деформаций продолжаем ее и на нижний участок сваи длиной  $H-h$ .

Прямолинейная эпюра проходит через точки  $\varepsilon_{\max} = \frac{N}{AE}$  и  $\varepsilon = 0$  истинной криволинейной функции  $\varepsilon(x)$  на всей длине сваи, как показано на рис. 1. В этом случае деформация материала сваи по ее длине описывается уравнением  $\varepsilon(x) = \varepsilon_{\max} (h-x)/h$ , или уравнением  $\varepsilon(x) = N(h-x)/EAh$ , при  $\varepsilon_{\max} = \frac{N}{AE}$ . Испытания образца-сваи в лабораторных условиях с измерением деформации сваи по ее длине подтвердили характер распределения деформаций по длине сваи.

На нижнем конце сваи в сечении выше уширения возникает «отрицательная» деформация  $\varepsilon_{\max, \text{отр}}$ , значение которой находим по прямолинейной эпюре деформаций  $\varepsilon(x)$  в виде  $\varepsilon_{\max, \text{отр}} = \varepsilon_{\max} (H-h)/h$  или

$$\varepsilon_{\max, \text{отр}} = N(H-h)/EAh.$$

Соответственно получим:

$$\varepsilon_{\text{отр}}(x) = \varepsilon_{\max, \text{отр}} (x-h)/(H-h) \text{ или } \varepsilon_{\text{отр}}(x) = N(x-h)/(H-h)EA.$$

Боковое давление грунта на сваю по [9] будет определяться по формуле:

$$q(x) = \gamma \xi_0 x,$$

где  $\gamma$  – объемный вес грунта;  $\xi_0$  – коэффициент бокового давления. По [9], например, для глинистых грунтов,  $\xi_0 = 0,10 \dots 0,15$ .

Силы трения-сцепления на боковой поверхности сваи по [6, 7 и др.] определяются по формулам:

$$f(x) = \varepsilon(x)q(x)\phi \text{ и } f_{\text{отр}}(x) = \varepsilon_{\text{отр}}(x)q(x)\phi, \quad (2)$$

где  $\phi$  – безразмерный коэффициент, учитывающий вид и состояние грунта, качество поверхности сваи и другие факторы.

Значение коэффициента  $\phi$  находится из условия возникновения сил трения-сцепления  $f(x)$  по всей длине сваи и учета всех видов грунтов на ее длине. Для этого условно сваю нагружают нагрузкой  $N_{\text{yc}}$ , при которой  $h = H$  и реакция на нижнем конце отсутствует, т.е. при  $\sigma_{\text{гр}} = 0$  и  $f_{\text{отр}}(x) = 0$ . Затем рассматривают равновесие сваи из условия  $\sum X = 0$  или  $N_{\text{yc}} = u \int_0^H f(x) dx$ . После подстановки выражения  $f(x)$ , но для условной сваи с  $h=H$  при

$\varepsilon_{\text{усл}}(x) = \varepsilon_{\text{max}} \frac{(H-x)}{H}$ ,  $\varepsilon_{\text{max}} = N/EA$ ,  $q(x) = \gamma \xi_0 x$  и после интегрирования найдем  $\phi = 6EA / u \gamma \xi_0 H^2$ .

После подстановки всех выражений  $\varepsilon(x)$ ,  $q(x)$ ,  $\varepsilon_{\text{отр}}(x)$  и  $\phi$  в (2) получим выражения распределенных на поверхности стержня-сваи силы трения-сцепления:

$$f(x) = N(h-x)\gamma \xi_0 x \phi / hEA \text{ и } f_{\text{отр}}(x) = N(x-h)\gamma \xi_0 x \phi / (H-h)EA. \quad (3)$$

Представим расчетную схему сваи по рис. 1 в виде стойки (рис. 2), нагруженной всеми рассмотренными выше воздействиями, и используем при определении ее осадки принцип независимости действия сил [7] в условиях упругих деформаций материала сваи.

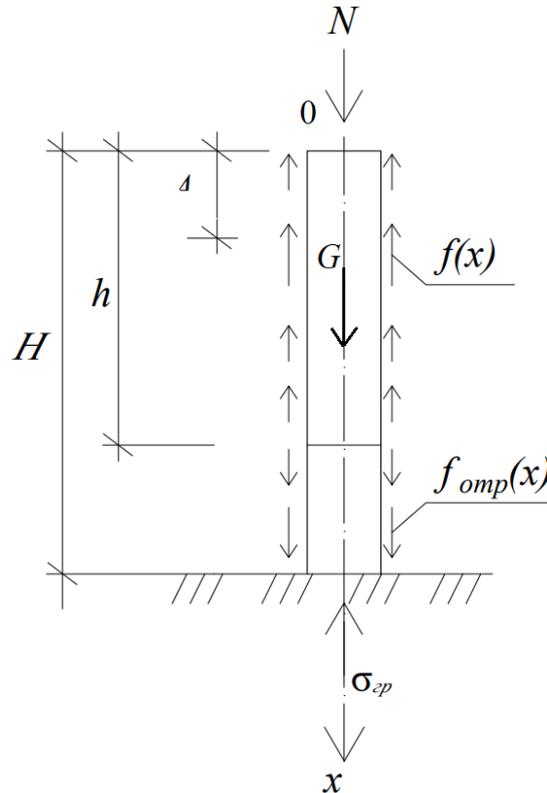


Рис. 2. Расчетная схема висячей сваи:  $\Delta$  – упругое перемещение,  $G$  – собственный вес сваи

Силы  $N$ ,  $G$ ,  $f_{\text{отр}}(x)$  сваю сжимают и соответственно укорачивают, а силы  $f(x)$  сваю растягивают. В результате по [10], имеем укорочения сваи от сжимающих нагрузок:

$\Delta_1(N) = \frac{NH}{EA}$ ,  $\Delta_2(G) = \frac{GH}{2EA}$  или при  $G = \gamma AH$ :  $\Delta_2 = \frac{\gamma_c H^2}{2E}$ , где  $G$  – вес сваи;  $\gamma_c$  – объемный вес материала сваи.

Укорочение стойки-сваи  $\Delta_3$  от воздействия сил  $f_{\text{отр}}(x)$  с учетом функции (3) найдем по расчетной схеме рис. 3. С учетом выражения  $f_{\text{отр}}(x)$  и (3) и равномерного распределения нагрузки  $f(x)$  и  $f_{\text{отр}}(x)$  по периметру поперечного сечения сваи  $u$  имеем нагрузку на участке сваи длиной  $H-h$  равной  $f_{\text{отр}}(x)$ . К верхней отсеченной части сваи ниже  $h$  на длине

$x$ , найдем усилие  $N$  из выражения  $N(x) = \int_H^x u f_{\text{отр}}(x) dx$ , а перемещение сечения сваи при  $x=h$

найдем на длине  $H-h$ . В результате подстановки  $f_{\text{отр}}(x)$  по (3) и интегрирования

$$\Delta_3 = \int_h^H \left[ \int_h^x \frac{u \cdot N(x-h) \gamma \xi_0 \phi x}{(H-h)(EA)^2} dx \right] dx$$

имеем:

$$\Delta_3 = \frac{u \cdot N \gamma \xi_0 \phi (H-h)^2 (H+h)}{12E^2 A^2}. \quad (4)$$

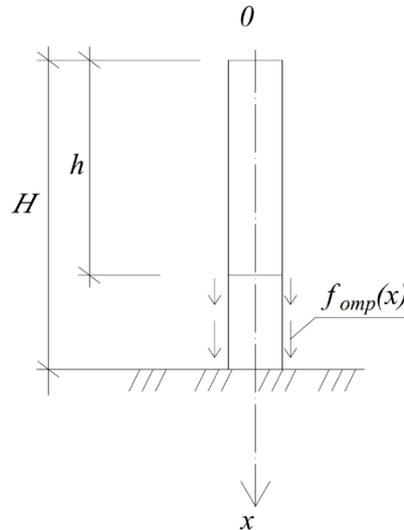


Рис. 3. Расчетная схема стойки-сваи при воздействии сил  $f_{\text{отр}}(x)$

Найдем удлинение стойки-сваи  $\Delta_4$  от воздействия сил  $f(x)$  с учетом функции (3) для расчетной схемы по рис. 4. отдельно на участках сваи длиной  $h$  и  $H-h$ .

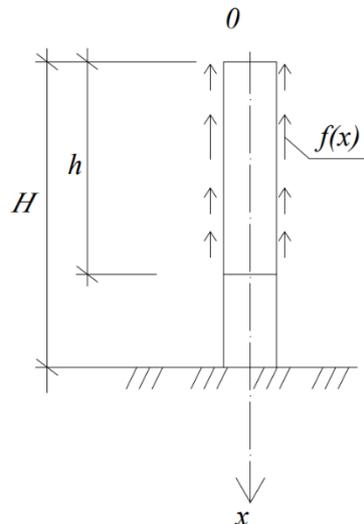


Рис. 4. Расчетная схема стойки-сваи при воздействии сил  $f(x)$

Обозначим перемещение удлинения сваи:  $\Delta_4 = \Delta_{4,1} + \Delta_{4,2}$ , где  $\Delta_{4,1}$  – удлинение стойки-сваи на длине участка сваи длиной  $H-h$  и  $\Delta_{4,2}$  удлинение на участке длиной  $h$  от нагрузки  $f(x)$ .

Имеем:  $\Delta_{4,1} = \int_h^H (u \cdot f(x)) \frac{H-h}{EA} dx$ . С учетом  $f(x)$  по (3) получим:

$$\Delta_{4,1} = \frac{uN\gamma\xi_0\phi(H-h)}{h(EA)^2} \int_h^H (h-x)x dx \text{ или } \Delta_{4,1} = \frac{uN\gamma\xi_0\phi(H-h)}{6(EA)^2} h^2. \quad (5)$$

Найдем удлинение  $\Delta_{4,2}$  участка сваи длиной  $h$  от нагрузки  $f(x)$ . Аналогично рассмотренному выше для участка сваи  $0 < x < h$  от нагрузки  $f_{\text{отр}}(x)$ , найдем удлинение сваи на этом участке по формуле:  $\Delta_3 = \int_0^h \left[ \int_0^x \frac{u \cdot N(h-x)\gamma\xi_0\phi x}{h(EA)^2} dx \right] dx$ .

После интегрирования получим:

$$\Delta_{4,2} = \frac{uN\gamma\xi_0\phi h^3}{12(EA)^2}. \quad (6)$$

Общее укорочение стойки-сваи за счет упругой деформации составит:

$$\Delta_{\text{упр}} = \Delta_1(N) + \Delta_2(G) + \Delta_3 - \Delta_{4,1} - \Delta_{4,2}.$$

*Пример:* Найдем значение  $\Delta_{\text{упр}}$  сваи при следующих данных:

$$A = 0,09 \text{ м}^2; u = 1,2 \text{ м}; H = 10 \text{ м}; h = 8,5 \text{ м}; \gamma_c = 23000 \text{ Н/м}^3; E = 2 \cdot 10^{10} \text{ Па};$$

$$N = 5 \cdot 10^6 \text{ Н}; \gamma_{\text{гр}} = 19000 \text{ Н/м}^3; \xi_0 = 0,11; \phi = \frac{6 \cdot E \cdot A}{u \cdot \gamma \cdot \xi_0 \cdot H^2} = \frac{6 \cdot 2 \cdot 10^{11} \cdot 0,09}{1,2 \cdot 19 \cdot 10^3 \cdot 0,1 \cdot 10^2} = 4,74 \cdot 10^5;$$

$$G = 20,7 \cdot 10^3 \text{ Н}.$$

Вычислим:

$$\Delta_1(N) = \frac{NH}{EA} = 28 \text{ мм}; \Delta_2 = \frac{\gamma_c H^2}{2E} = 5,75 \cdot 10^{-3} \text{ мм}; \Delta_3 = \frac{u \cdot N \gamma \xi_0 \phi (H-h)^2 (H+h)}{12E^2 A^2} = 1 \text{ мм};$$

$$\Delta_{4,1} = \frac{uN\gamma\xi_0\phi(H-h)}{6(EA)^2} h^2 = 3,56 \text{ мм}; \Delta_{4,2} = \frac{uN\gamma\xi_0\phi h^3}{6(EA)^2} = 8,61 \text{ мм}.$$

Суммарная осадка:  $\Delta_{\text{упр}} = 17 \text{ мм}$ .

Выполним расчет осадки за счет упругой деформации сваи по (16):

$$\Delta_{\text{упр}} = \frac{Nl}{EA} = 28 \text{ мм}.$$

Результаты расчетов осадки сваи за счет упругой деформации материала сваи при сжатии, полученные по формуле (1) СП 24.13330.2011 превышают результаты расчетов осадки сваи по предлагаемой методике.

При заданном значении  $h=7$  м в примере, получим суммарную упругую осадку  $\Delta_{\text{упр}} = 20$  мм. При значении  $h=9$  м в примере, получим суммарную упругую осадку  $\Delta_{\text{упр}} = 14$  мм.

### Заключение.

Предложена уточненная формула для расчета осадки висячей сваи, которая может привести экономическому эффекту при проектировании свайного фундамента по критерию осадки.

Уточнение формулы достигается за счет учета всех сил, действующих на сваю по новой расчетной модели, и отдельного воздействия сил на сваю по принципу независимости действия сил.

Уточненный метод расчета осадки свай и осадки всего сооружения может быть включен в нормы расчетов осадки свай на стадиях проектирования и эксплуатации, особенно при большой длине свай, полых сваях и сваях из материала с малым модулем упругости.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Тер-Мартirosян, З. Г.** Теоретические основы расчета фундаментов глубокого заложения – свай и баррет / З. Г. Тер-Мартirosян, В. В. Сидоров, П. В. Струнин // Вестник ПНИПУ. – 2014. – № 2. – С. 190-204.
2. **Zhou, Z.** Determination of large diameter bored. piles effective length based on Mindlin's, Solution / Z, Zhou, D. Wang, L. Zhang L // Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition). – 2015. – Vol 2. – Issue 6. – Pp. 422-428.
3. **Vali, R.** A three-dimensional numerical comparison of bearing capacity and settlement of tapered and under-reamed piles / R. Vali., E. Mehrinejad Khotbehsara, M. Saberian, J. Li, M. Mehrinejad, S. Jahandari // International Journal of Geotechnical Engineering. – 2019. – Vol. 13(3). – Pp. 236-248.
4. **Lee, C. Y.** Settlement and Load Distribution Analysis of Under-reamed piles / C. Y. Lee // ARPN journal of engineering applied science. – 2007. – Vol. 2. – No. 4. – Pp. 35-40.
5. **Farokhi, A. S.** Optimizing the performance of under-reamed piles in clay using numerical method / A.S. Farokhi, H. Alielahi, Z. Mardani // Electronic Journal of Geotechnical Engineering. – 2014. – Vol. 19. – Pp. 1507-1520.
6. **Уткин, В. С.** Расчет несущей способности буронабивных свай с уширением с учетом отрицательных сил трения-сцепления / В. С. Уткин // Строительная механика и расчет сооружений. – 2020. – № 3. – С. 32-36.
7. **Уткин, В. С.** Расчет несущей способности висячих свай при параболическом распределении сил трения / В. С. Уткин, С. А. Соловьев, А. А. Соловьева // Строительство и реконструкция. – 2020. – № 4. – С. 65-72.
8. **Уткин, В. С.** Расчет несущей способности висячих свай по несущей способности грунта оснований с учетом отрицательных сил трения-сцепления / В. С. Уткин // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2019. – № 2(9). – С. 26-33.
9. **Цытович, Н. А.** Механика грунтов (краткий курс) / Н. А. Цытович. – М.: Высшая школа, 1983. – 288 с.
10. **Смирнов, А.Ф.** Сопроотивление материалов / А.Ф. Смирнов. – М.: Высшая школа, 1975. – 480 с.

*Поступила в редакцию 28 января 2021*

### REFINEMENT OF SETTLEMENT CALCULATION IN UNDER-REAMED FRICTION PILES UNDER AXIAL COMPRESSION IN THE SOIL BASE

**V. S. Utkin, L. A. Sushev, S. A. Solovev**

---

Utkin Vladimir Sergeevich, Dr. Sc. (Technical), Professor of the Department of Industrial and Civil Engineering, Vologda State University, Vologda, Russia, phone: +7(8172)53-35-31; email: utkinvogtu@mail.ru  
Sushev Leonid Andreevich, Graduate student of the Department of Industrial and Civil Engineering, Vologda State University, Vologda, Russia, phone: 8(8172)53-35-31; email: sushevleo@yandex.ru  
Solovev Sergey Alexandrovich, Cand. Sc. (Technical), Associate Professor of the Department of Industrial and Civil Engineering, Vologda State University, Vologda, Russia, phone: 8(8172)53-35-31; email: solovevsa@vogu35.ru

---

The article describes the design scheme of a friction pile with under-ream, taking into account the new approach to the friction forces distribution on the pile lateral surface. On this basis, the new method is presented for calculating pile settlement caused by elastic deformations of

the pile material. A decrease in the values of the friction pile settlement was revealed due to elastic deformations according to the new design equation, compared with the values of the pile settlement obtained according to SP 24.13330.2011 "Pile foundations". The reduction of the elastic settlement of the pile is achieved by taking into account the friction forces (positive and negative) on the pile lateral surface. The proposed approach will allow to reasonably reduce the cost of pile structures when determining their performance by the value of the pile draft, especially in cases with a large pile length, hollow piles and piles made of a material with a small modulus of elasticity.

**Keywords:** friction pile; under-ream of the pile; settlement; elastic deformations; axial compression.

## REFERENCES

1. **Ter-Martirosyan Z. G., Sidorov V. V., Strunin P. V.** *Theoretical bases of deep pile and barrette foundations*. PNIPU Bulletin. 2014. No. 2. Pp.190-204. (in Russian)
2. **Zhou Z., Wang D., Zhang L.** *Determination of large diameter bored. piles effective length based on Mindlin's, Solution*. Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition). 2015. Vol 2. Issue 6. Pp. 422-428.
3. **Vali R., Mehrinejad Khotbehsara E., Saberian M., Li J., Mehrinejad M., Jahandari S.** *A three-dimensional numerical comparison of bearing capacity and settlement of tapered and under-reamed piles*. International Journal of Geotechnical Engineering. 2019. Vol. 13(3). Pp. 236-248.
4. **Lee C. Y.** *Settlement and load distribution analysis of under-reamed piles*. ARPN journal of engineering applied science. 2007. Vol. 2. No. 4. Pp. 35-40.
5. **Farokhi A. S., Alielahi H., Mardani Z.** *Optimizing the performance of under-reamed piles in clay using numerical method*. Electronic Journal of Geotechnical Engineering. 2014. Vol. 19. Pp. 1507-1520.
6. **Utkin V. S.** *Calculation of bearing capacity of drilling piles with widening taking into account negative friction clutch forces*. Structural Mechanics and Analysis of Constructions. 2020. No. 3. Pp. 32-36. (in Russian)
7. **Utkin V. S., Solovev S. A., Soloveva A. A.** *Friction pile bearing capacity based on the parabolic distribution of skin friction*. Building and Reconstruction. 2020. No. 4. Pp. 65-72. (in Russian)
8. **Utkin V. S.** *Ultimate load on friction piles on soil base bearing capacity with negative skin*. Housing and utilities infrastructure. 2019. № 2(9). Pp. 26-33. (in Russian)
9. **Cytovich N. A.** *Soil mechanics*. Moscow: Higher school Publishing, 1983. 288 p. (in Russian)
10. **Smirnov A. F.** *Strength of materials*. Moscow: Higher school Publishing, 1975. 480 p.

*Received 28 January 2021*

### ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

**Уткин, В. С.** Уточнение расчета осадки висячей сваи с уширением при центральном сжатии в грунте основания / В. С. Уткин, Л. А. Сушев, С. А. Соловьев // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2021. – № 2(17). – С. 9-16.

### FOR CITATION:

**Utkin V. S., Sushev L. A., Solovev S. A.** *Refinement of settlement calculation in under-reamed friction piles under axial compression in the soil base*. Housing and utilities infrastructure. 2021. No. 2(17). Pp. 9-16. (in Russian)

## **ИНЖЕНЕРНЫЕ СИСТЕМЫ И КОММУНИКАЦИИ**

## **ENGINEERING SYSTEMS AND COMMUNICATIONS**

УДК 697.92

### **К ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОБЩЕОБМЕННОЙ ПРИТОЧНОЙ СИСТЕМЫ ВЕНТИЛЯЦИИ В КАЧЕСТВЕ ВОЗДУШНОЙ ЗАВЕСЫ**

**В. М. Киреев, В. А. Минко, А. С. Гринченко, В. Е. Киреев**

---

Киреев Виталий Михайлович, канд. техн. наук, доцент кафедры теплогазоснабжения и вентиляции, Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, Белгород, Российская Федерация, тел.: +7(4722)55-94-38; e-mail: vit31rus@mail.ru

Минко Всеволод Афанасьевич, д-р техн. наук, заслуженный изобретатель Российской Федерации, профессор кафедры теплогазоснабжения и вентиляции, Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, Белгород, Российская Федерация, тел.: +7(4722)55-94-38; e-mail: vit31rus@mail.ru

Гринченко Андрей Сергеевич, магистрант кафедры теплогазоснабжения и вентиляции, Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, Белгород, Российская Федерация, тел.: +7(4722)55-94-38; e-mail: vit31rus@mail.ru

Киреев Владимир Евгеньевич, магистрант кафедры теплогазоснабжения и вентиляции, Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, Белгород, Российская Федерация, тел.: +7(4722)55-94-38; e-mail: vit31rus@mail.ru

---

В последнее время по ряду причин широкую популярность получили торговые и офисные помещения на первых этажах здания, обладающие отдельным входом на улицу. Основной особенностью данных помещений является невысокая посещаемость, поэтому работа отдельно установленной тепловой завесы будет хоть и эффективной, но нецелесообразной. В тоже время в данных помещениях должна иметься приточная вентиляция для поддержания требуемых параметров микроклимата. Таким образом, в статье предлагается, помимо выполнения своей основной функции, использовать общеобменную приточную вентиляцию как воздушную завесу в данных типах помещений. За счет подачи воздуха над дверным проемом с определенными параметрами в ряде случаев возможно отказаться от тепловой воздушной завесы как отдельного энергоемкого устройства. Реализацию данной задачи предлагается осуществлять за счет организации необходимой схемы воздухообмена, без увеличения её требуемой производительности. В результате проведенного анализа было выявлено, что воздухораспределение возможно производить с помощью готовых стандартных воздухораспределительных устройств, которые гармонично вписываются в интерьер. Приведен адаптированный расчет воздухораспределительной решетки для выполнения поставленной цели. Представлены результаты исследования, позволяющие оценить возможность использования предлагаемого технического решения для наиболее стандартного случая.

**Ключевые слова:** приточная вентиляция; тепловая завеса; воздушная завеса; общественные помещения; энергоэффективность.

Во всем мире непрерывно повышается уровень требований к параметрам воздушной среды в помещениях различного назначения. Формирование комфортных параметров среды в обитаемых помещениях – основная функция систем жизнеобеспечения. Открытые дверные, оконные и другие проемы приводят к значительным потерям тепла и являются основной причиной образования сквозняков в помещении. Воздушно-тепловые завесы (ВТЗ) помогают решить сразу несколько проблем, связанных с поддержанием микроклимата и энергоемкости здания в целом. Они предназначены для разделения зон с различной температурой воздушной среды по разные стороны открытых проемов рабочих окон, входных дверей и ворот. За счет подачи высокоскоростного воздушного потока они образуют

своего рода завесу, которая не дает теплomu воздуху выходить наружу и не впускает холодный воздух в помещение. При использовании завесы в помещении с открытым проемом улучшается внутренний тепловой комфорт, исчезают сквозняки, значительно снижаются тепловые потери, а, следовательно, и затраты на обогрев.

Летом в районах с теплым климатом воздушная завеса также энергоэффективна, так как в значительной мере снижает затраты на кондиционирование помещений.

В современном мире проблема энергосбережения очень актуальна, что заставляет научно-технический прогресс требовать внедрение новых энергоэкономичных технологий, постоянного пополнения научных идей, а также проведение фундаментальных исследований. Энергосбережение подразумевает эффективное (рациональное) использование энергии во всех звеньях: от добычи первичных энергоресурсов до потребления всех видов энергии конечными пользователями. Таким образом, совершенствование систем отопления и вентиляции, направленное на снижение расхода энергии, затрачиваемой на создание и поддержание требуемого микроклимата в помещениях, является весьма актуальной задачей. [1, 2]

Проведя всесторонний анализ работы воздушно-тепловых завес, можно с уверенностью утверждать, что они не всегда соответствуют современным требованиям энергосбережения, в связи с использованием электрического калорифера для нагрева подаваемого воздуха [3].

На сегодняшний день наряду с большими торговыми и офисными зданиями высокую популярность получили малые офисы и торговые организации, располагаемые зачастую на первом этаже здания. Данные помещения, как правило, имеют отдельный вход и оборудованы приточно-вытяжной общеобменной системой вентиляции [СП 118.13330.2012 «Общественные здания и сооружения», СП 54.13330.2016 «Здания жилые многоквартирные»]. Основной особенностью таких помещений является невысокая посещаемость, поэтому работа отдельно установленной тепловой завесы будет хоть и эффективной, но нецелесообразной. Режим работы общеобменной вентиляции постоянен, так как направлен на поддержание требуемых параметров микроклимата [СП 60.13330.2016 «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха»].

Учитывая все перечисленное выше, возникает новое перспективное техническое решение, заключающееся в использовании приточной общеобменной системы вентиляции в качестве воздушной завесы в небольших общественных помещениях. За счет организации необходимого воздухообмена в помещении общеобменная вентиляция может выполнять функцию тепловой завесы, что повысит энергоэффективность инженерных систем и снизит эксплуатационные расходы на содержание помещения.

Для использования предлагаемого направления необходимо в первую очередь рассмотреть существующие методики расчета общеобменной системы вентиляции и воздушной завесы.

Вентиляция помещений является необходимым условием труда. Расчёт необходимого воздухообмена в рассматриваемых помещениях должен быть произведён исходя из назначения помещения и количества работающих там людей [СП 60.13330.2016 «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха»]. Производительность системы приточно-вытяжной вентиляции в этом случае определяется минимальным количеством наружного воздуха на одного человека. Для одного человека норма воздухообмена составляет от 20 до 60 м<sup>3</sup>/ч в зависимости от назначения помещения. На практике, как правило, достаточно 60 м<sup>3</sup>/ч на одного человека при постоянном пребывании на рабочем месте и 20 м<sup>3</sup>/ч на каждого человека при временном пребывании (менее 2-х часов) [СП 60.13330.2016 «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха»] [4].

Расчету и проектированию воздушных завес посвящено большое количество работ [5...9]. Для выбора тепловой мощности воздушной завесы необходимо знать общее время, в течение которого входные двери будут открытыми, удельный поток холодного воздуха,

габариты дверного проема [10...13]. Однако при проектировании воздушной завесы в рассматриваемом случае определяющим параметром будет выступать скорость воздушного потока, которая предотвратит поступление холодного воздуха.

В некоторых работах [7] имеются данные, что достаточным условием работы воздушной завесы является прохождение наружной границы или оси струи через определенную точку и нахождение величины средней скорости воздуха в «конце струи» в пределах 2...3 м/с. При этом предполагается, что автоматически соблюдается такой баланс теплоты в дверном проеме, при котором отсутствуют как теплопотери с уходящим наружу воздухом, так и с поступающим холодным воздухом. По мнению авторов, данный подход не совсем точен, но его можно использовать, учитывая специфику обслуживаемого объекта: малая площадь дверного проема, кратковременность открытия дверей.

Особое место в рассматриваемом вопросе будет занимать способ подачи и распределения воздуха для достижения поставленной цели. Воздухораспределитель должен выполнять условие поддержания минимальной требуемой скорости в конце не менее 2...3 м/с, а также гармонично вписываться в интерьер помещения. Так как двери в большинстве случаев для данного типа помещений имеют небольшую ширину (до 1,5 метров), то предпочтительно произвести воздухораспределение с помощью готового стандартного воздухораспределительного устройства, либо подобрать индивидуальные параметры под заказ необходимого размера.

При расчете и подборе наиболее подходящего воздухораспределительного устройства необходимо использовать теорию движения приточных вентиляционных струй [14]. В нашем случае будет иметь место плоская струя. Плоские струи образуются при истечении из вытянутых прямоугольных отверстий с соотношением сторон  $a_0/b_0 > 5$ , где  $a_0$  и  $b_0$  соответственно размеры большей и меньшей стороны решетки. Для плоских струй  $x < 6a_0$  имеем:

$$V_x = \frac{m_1 \cdot V_0 \cdot \sqrt{b_0}}{\sqrt{x}} \cdot K_c \cdot K_b \cdot K_n, \quad (1)$$

$$\Delta t_x^{\max} = \frac{n_1 \cdot \Delta t_0 \cdot \sqrt{b_0}}{\sqrt{x}} \cdot \frac{K_b}{K_c \cdot K_n}, \quad (2)$$

где  $V_x$  – максимальная скорость воздуха на основном участке струи на расстоянии  $x$  от решетки;  $m_1 = m/2,45$ ;  $m$  – скоростной коэффициент решетки;  $n_1 = n/2,45$ ;  $n$  – температурный коэффициент для плоского участка струи;  $b_0$  – ширина расчетного сечения решетки, м;  $V_0$  – скорость в расчетном сечении, м/с;  $\Delta t_0$  – разница температур окружающего воздуха и приточной струи;  $K_c$  – коэффициент стеснения;  $K_b$  – коэффициент взаимодействия;  $K_n$  – коэффициент неизотермичности;  $x$  – расстояние от решетки до рассматриваемой точки, м.

В нашем случае будем иметь неизотермическую струю с небольшим значением  $\Delta t = 3$ , согласно СП 60.13330.2016 «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха» температура приточного воздуха в общественных помещениях должна составлять не более, чем  $3^{\circ}\text{C}$  выше расчетной температуры приточного воздуха.

Так как при конструировании приточной общеобменной системы вентиляции с функцией тепловой завесы необходимо в первую очередь знать требуемую скорость на выходе из воздухораспределительного устройства, то из (1) выразим параметр  $V_0$ , задаваясь скоростью  $V_x = 2...3$  м/с

$$V_0 = \frac{V_x \sqrt{x}}{m_1 \cdot \sqrt{b_0} \cdot K_c \cdot K_b \cdot K_n}. \quad (3)$$

Однако данная зависимость подходит лишь для грубой оценки, так как в ее состав входят коэффициент неизотермичности  $K_n$  с участием параметра  $V_0$ . В нашем и аналогичных случаях вполне возможно использовать данную зависимость, так как имеется незначительный температурный перепад между температурой окружающего воздуха и температурой приточного воздуха, что приводит к минимальному воздействию гравитационных сил.

Зная скорость в сечении решетки  $V_0$ , можем определить расход воздуха, необходимого для подачи  $G$ ,  $\text{м}^3/\text{с}$ :

$$G = F_0 \cdot V_0. \quad (4)$$

Произведем расчет для наиболее характерных условий со следующими исходными данными:

- ✓ высота помещения  $h = 3 \text{ м}$ ;
  - ✓ ширина дверного проема  $c = 0,8 \text{ м}$ ;
  - ✓ температура воздуха в помещении  $t_{in} = 19 \text{ }^\circ\text{C}$ ;
  - ✓ температура приточного воздуха согласно [СП 60.13330.2016 Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха]  $22 \text{ }^\circ\text{C}$ ;
  - ✓ разность температур  $\Delta t_0 = 3$ ;
  - ✓ скорость воздуха в конце струи  $V_x = 2 \text{ м/с}$ ;
  - ✓ зададимся скоростью воздуха на выходе из решетки  $V_0 = 5 \text{ м/с}$ ;
  - ✓ решетку примем типа АМН размерами  $0,8 \times 0,1$  из каталога производителя (рис. 1).
- Площадь расчетного сечения принятой решетки согласно каталога  $F_0 = 0,073 \text{ м}^2$ .



Рис. 1. Внешний вид принимаемой вентиляционной решетки

При расчете примем схему подачи приточного воздуха сверху вниз плоскими струями (рис. 2).

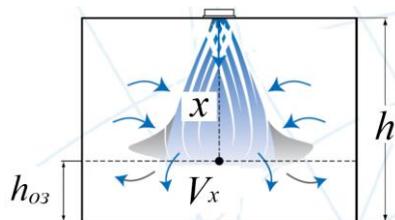


Рис. 2. Схема подаваемой струи воздуха:  $h$  - высота помещения;  $h_{оз}$  - высота обслуживаемой зоны

Существует два подхода для расчета неизотермических струй. Первый подход по комплексному параметру  $H$  [10], имеющему размерность длины и зависящему от конструктивных параметров распределителя (коэффициентов  $m$ ,  $n$ ,  $F_0$ ) и условий на истечении ( $V_0$ ,  $t$ ).

Второй подход – по безразмерной характеристике струи – текущему критерию Архимеда, на определенном расстоянии от воздухораспределителя, также зависящему от приведенных выше параметров и от рассматриваемой длины струи.

Геометрическая характеристика  $H$  для плоской струи определяется по формуле:

$$H = \sqrt[3]{b_0 \cdot T_m^2 \frac{(m \cdot V_0)^4}{(n \cdot \Delta t \cdot g)^2}}, \quad (5)$$

где  $T_m$  – температура окружающей среды, К;  $g$  – ускорение свободного падения,  $9,81 \text{ м/с}^2$ ; для выбранной решетки приняты параметры  $m=6$ ,  $n=5,1$ .

При подаче нагретого воздуха, когда его температура выше средней температуры воздуха, возникают гравитационные силы за счет разности плотностей воздуха, которые снижают дальность струи. Данный факт учитывается коэффициентом неизотермичности

$K_n$ , который для нашего случая определяется как:

$$K_n = \sqrt[3]{1 - 2 \cdot \sqrt{\left(\frac{x}{H}\right)^3}}. \quad (6)$$

Так как в рассматриваемом примере температурный перепад  $\Delta t_0 = 3 \text{ }^\circ\text{C}$  незначителен, а скорость  $V_0$  достаточно высокая, то значение коэффициента неизотермичности становится незначимо ввиду его стремления к единице  $K_n = 0,99$  (рис. 3, рис. 4), что позволяет использовать зависимость (3).

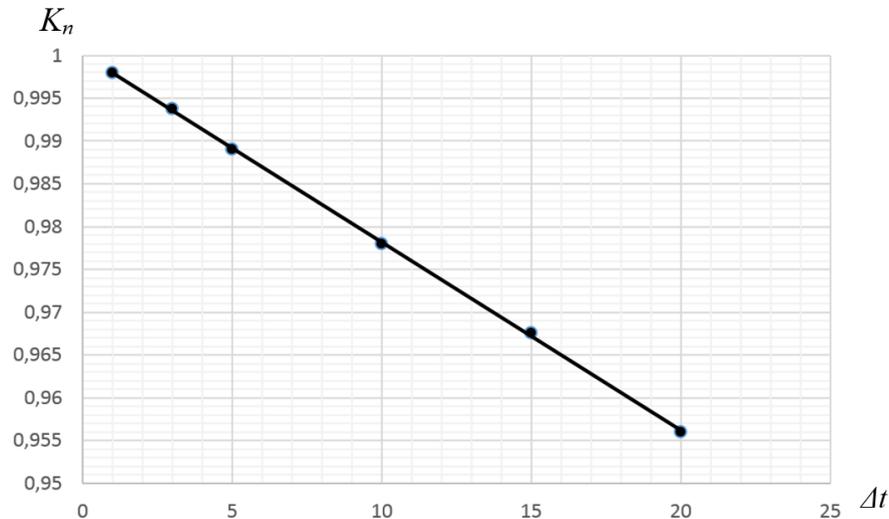


Рис. 3. Зависимость коэффициента неизотермичности  $K_n$  от параметра  $\Delta t_0$

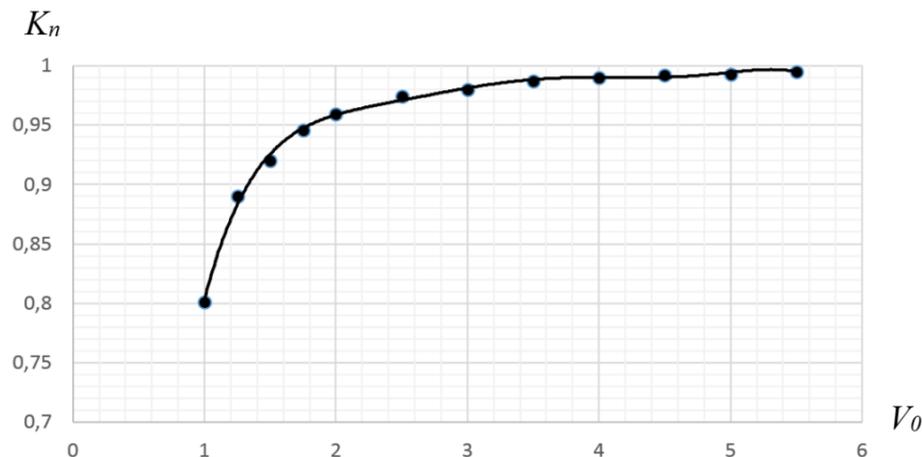


Рис. 4. Зависимость коэффициента неизотермичности  $K_n$  от скорости на выходе из решетки  $V_0$

В результате расчетов получено значение  $V_x = 2,12 \text{ м/с}$ , что соответствует изначально задаваемому диапазону скоростей. Построен график зависимости  $V_x$  от  $V_0$  при заданных условиях (рис. 5).

Для скорости  $V_0 = 5 \text{ м/с}$  уровень звукового давления для данной решетки составит 46 дБ, что ниже допустимого в 60 дБ для данного типа помещения.

Рассмотрение поставленной в статье задачи производилось с использованием одной из существующих методик [7], однако следует учесть, что существует ряд других, основывающихся на иных зависимостях. В представленной статье авторы ставили задачу в первую очередь дать предварительную оценку возможности реализации представленного технического решения. По мнению авторов, на сегодняшний день предлагаемое направление

весьма перспективно, и его использование привлекательно с точки зрения энергосбережения в инженерных системах.

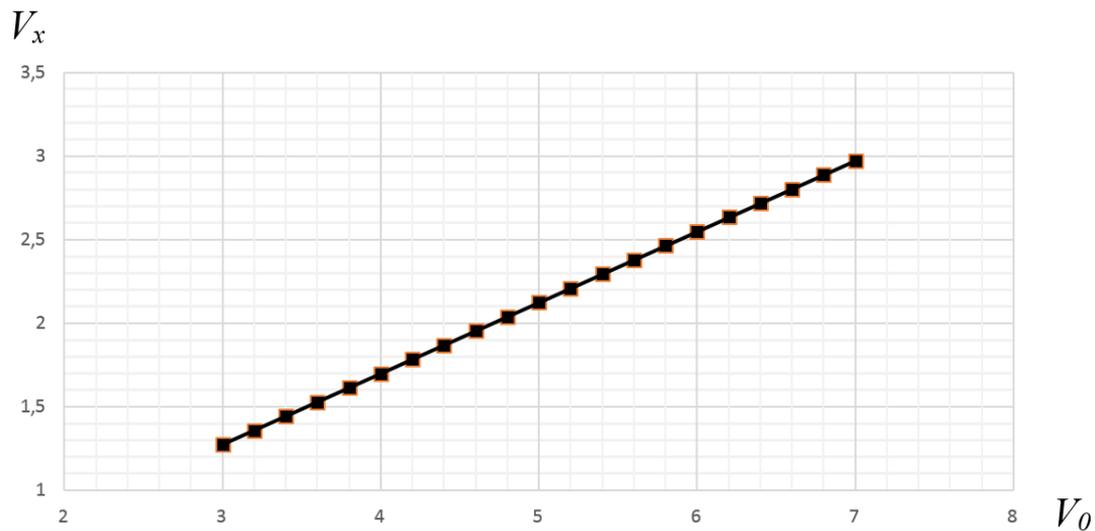


Рис. 5. График зависимости  $V_x$  от  $V_0$  при заданных условиях

### Заключение.

Рассмотрена возможность использования приточной общеобменной вентиляции для предотвращения поступления холодного воздуха при открывании дверей в общественных помещениях. Реализацию данной задачи предполагается осуществлять за счет организации необходимой схемы воздухообмена, без увеличения её требуемой производительности.

Таким образом, общеобменная вентиляция будет выполнять одновременно две функции: поддерживать требуемые параметры микроклимата и выступать в роли тепловой завесы. В статье рассмотрен наиболее характерный случай для общественного помещения небольшой площади, для более широкого применения данного технического решения необходимы дальнейшие исследования.

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда  
(проект № 18-79-10025).*

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Overchenko, M.** Analysis of factors influencing the choice of insulation systems of educational institutions / M. Overchenko, A. Belous // Construction Materials and Products. – 2019. – Vol. 2. Issue 1. – Pp. 24-31.
2. **Elistratova, Y.** Contribution of heat loss by infiltration to energy saving and microclimate in multi-family residential buildings / Y. Elistratova, V. Kireev, A. Seminenko // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. – 2020. – doi:10.1088/1757-899X/791/1/012007.
3. **Сканави, А. Н.** Отопление / А. Н. Сканави, Л. М. Махов. – М.: АСВ, 2002. – 256 с.
4. **Ананьев, В. А.** Системы вентиляции и кондиционирования. Теория и практика. Третье издание / В. А. Ананьев, Л. Н. Балужева, А. Д. Гальперин. – М.: Евроклимат, 2001. – 416 с.
5. **Батурич, В. В.** Проектирование воздушных завес / В. В. Батурич. – М.: Профиздат, 1941. – 103 с.
6. **Эльтерман, В. М.** Воздушные завесы / В. М. Эльтерман. – М.: Машгиз, 1961. – 164 с.
7. **Дискин, М. Е.** К вопросу о расчете воздушных завес / М. Е. Дискин // АВОК. – 2003. – № 7. – С. 58-64.

8. **Богословский, В. Н.** Справочник проектировщика: Внутренние санитарно-технические устройства. Часть 3. Вентиляция и кондиционирование воздуха / В. Н. Богословский, А. И. Пирумов, В. Н. Посохин. – М.: Стройиздат, 1992. – 174 с.
9. **Кустиков, Г. Г.** Воздушная завеса повышенной эффективности / Г. Г. Кустиков, М. А. Таран, О. И. Ускова // Омский научный вестник. – 2015. – № 3(143). – С. 70-73.
10. **Шепелев, И. А.** Основы расчета воздушных завес, приточных струй и пористых фильтров / И. А. Шепелев – М.: Стройиздат, 1950. – 89 с.
11. **Батулин, В. В.** Основы промышленной вентиляции / В. В. Батулин – М.: Профиздат, 1990. – 448 с.
12. **Стронгин, А. С.** Новый подход к расчету воздушно-тепловых завес / А. С. Стронгин, М. В. Никулин // Строительство и архитектура. Серия известия ВУЗов. – 1991. – № 1. – С. 56-59.
13. **Стронгин, А. С.** К вопросу о расчете воздушно-тепловых завес / А. С. Стронгин, М. В. Никулин // АВОК. – 2004. – № 1. – С. 12-18.
14. **Гримитлин, М. И.** Распределение воздуха в помещениях / М. И. Гримитлин. – Санкт-Петербург: «АВОК Северо-Запад», 2004. – 320 с.

*Поступила в редакцию 25 января 2021*

## ON THE POSSIBILITY OF USING FORCED SUPPLY VENTILATION SYSTEM AS AN AIR CURTAIN

**V. M. Kireev, V. A. Minko, A. S. Grinchenko, V. E. Kireev**

---

Kireev Vitaly Mikhailovich, Cand. Sc. (Technical), Associate Professor of the Department of Heat and Gas Supply and Ventilation, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Belgorod, Russia, phone: +7(4722)55-94-38; e-mail: vit31rus@mail.ru

Minko Vsevolod Afanasyevich, Dr. Sc. (Technical), Honored Inventor of the Russian Federation, Professor of the Department of Heat and Gas Supply and Ventilation, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Belgorod, Russia, phone: +7(4722)55-94-38; e-mail: vit31rus@mail.ru

Grinchenko Andrey Sergeevich, master's student of the Department of Heat and Gas Supply and Ventilation, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhova, Belgorod, Russia, phone: +7(4722)55-94-38; e-mail: vit31rus@mail.ru

Kireev Vladimir Evgenievich, master's student of the Department of Heat and Gas Supply and Ventilation, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhova, Belgorod, Russia, phone: +7(4722)55-94-38; e-mail: vit31rus@mail.ru

---

For a number of reasons retail and office premises with a separate entrance on the ground floors of the building have recently gained a wide popularity. The main feature of these premises is low attendance; therefore, the operation of a separately installed heat curtain will be effective but impractical. At the same time, these rooms must have a supply ventilation to maintain the required microclimate parameters. Thus, the article offers to use the forced supply ventilation as an air curtain in these types of premises, in addition to performing its main function. Due to the air supply with certain parameters above the doorway, in some cases it is possible not to use the thermal air curtain as a separate energy-intensive device. We offer to implement this task through organizing some air exchange scheme, without increasing its required performance. As a result of the analysis, it was revealed that air distribution can be performed with ready-made standard air distribution devices that harmoniously fit into the interior. An adapted calculation of the air distribution grid is presented to achieve this goal. In this article we present the results of the study, which make it possible to assess the possibility of using the proposed technical solution for the most standard case.

**Keywords:** supply ventilation system; heat curtain; air curtain; public premises; energy efficiency.

## REFERENCES

1. **Overchenko M., Belous A.** *Analysis of factors influencing the choice of insulation systems of educational institutions.* Construction Materials and Products. 2019. Vol. 2. Issue 1. Pp. 24-31.
2. **Elistratova Y., Kireev V. and Seminenko A.** *Contribution of heat loss by infiltration to energy saving and microclimate in multi-family residential buildings.* IOP Conf. Series Materials Science and Engineering. 2020. doi:10.1088/1757-899X/791/1/012007
3. **Skanavi A. N., Makhov L. M.** *Heating.* Moscow, ASV. 2002. 256 p. (in Russian)
4. **Ananiev V. A., Balueva L. N., Halperin A. D.** *Ventilation and air conditioning systems. Theory and practice. Third edition.* Moscow, Evroklimat. 2001. 416 p. (in Russian)
5. **Baturin V. V.** *Designing air curtains.* Moscow, Profizdat. 1941. 103 p. (in Russian)
6. **Elterman V. M.** *Air curtains.* Moscow, Mashgiz. 1961. 164 p. (in Russian)
7. **Diskin M. E.** *On the calculation of air curtains.* AVOK. 2003. No. 7. Pp. 58-64. (in Russian)
8. **Bogoslovsky V. N., Pirumov A. I., Posokhin V. N.** *Designer handbook: Internal sanitary facilities. Part 3. Ventilation and air conditioning.* Moscow, Stroyizdat. 1992. 174 p. (in Russian)
9. **Kustikov G. G., Taran M. A., Uskova O. I.** *Air curtain of increased efficiency.* Omsk Scientific Bulletin. 2015. No. 3(143). Pp. 70-73. (in Russian)
10. **Shepelev I. A.** *Fundamentals of calculation of air curtains, supply jets and porous filters.* Moscow, Stroyizdat. 1950. 89 p. (in Russian)
11. **Baturin V. V.** *Fundamentals of industrial ventilation.* Moscow, Profizdat. 1990. 448 p. (in Russian)
12. **Strongin A. S., Nikulin M. V.** *A new approach to the calculation of air-thermal curtains.* Building and architecture. Ser. Izv. Universities. 1991. No. 1. Pp. 56-59 (in Russian)
13. **Strongin A. S., Nikulin M. V.** *On the issue of calculating air-thermal curtains.* AVOK. 2004. No. 1. Pp. 12-18 (in Russian)
14. **Grimitlin M. I.** *Air distribution in the premises.* St. Petersburg, AVOK North-West. 2004. 320 p. (in Russian)

*Received 25 January 2021*

**ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:**

**Киреев, В. М.** К возможности использования общеобменной приточной системы вентиляции в качестве воздушной завесы / В. М. Киреев, В. А. Минко, А. С. Гринченко, В. Е. Киреев // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2021. – № 2(17). – С. 17-24.

**FOR CITATION:**

**Kireev V. M., Minko V. A., Grinchenko A. S., Kireev V. E.** *On the possibility of using forced supply ventilation system as an air curtain.* Housing and utilities infrastructure. 2021. No. 2(17). Pp. 17-24. (in Russian)

УДК 697.1

## ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭНЕРГОАУДИТА СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ УЧЕБНОГО КОРПУСА № 1 САМГТУ

А. Н. Бранфилева

---

Бранфилева Анастасия Николаевна, канд. техн. наук, доцент кафедры «Тепловые электрические станции», доцент кафедры «Теоретические основы теплотехники и гидромеханика», ФГБУ ВПО «Самарский государственный технический университет», Самара, Российская Федерация, тел.: +7(846)332-42-35; e-mail: branfileva\_an\_samgtu@mail.ru

---

В работе представлены результаты энергетического аудита учебного корпуса № 1 СамГТУ. Приведена обобщенная методика расчета тепловых потерь на основе формул теплопередачи, а также методика исследования однотрубной системы отопления. Представлены результаты расчета потерь тепла через ограждающие конструкции здания (стены, окна, покрытия, перекрытия). Рассчитаны требуемые мощности отопительных приборов и произведена оценка мощности установленных в настоящее время отопительных приборов с точки зрения требуемой и фактически потребляемой энергии. Установлено, что потребляемое количество теплоты на 10...20 % превышает расчётное. Сформированы рекомендации по корректировке мощности приборов отопления с целью приведения её к расчётной, что позволило сократить до 20 % потребления тепловой энергии. Проведены исследования чердачных помещений и магистралей систем отопления, в результате которых обнаружено несоответствие коэффициента эффективности тепловой изоляции магистралей нормам. Произведены расчеты по подбору оптимальной толщины изоляции для каждого диаметра трубопровода, в результате чего удалось снизить теплопотери на 4 %. По итогам энергоаудита были выданы рекомендации по усовершенствованию однотрубной системы отопления.

**Ключевые слова:** энергетический аудит; расчёт потерь теплоты; однотрубная система отопления; отопительные приборы; требуемая мощность отопительных приборов; коэффициент эффективности тепловой изоляции.

В настоящее время вопрос энергосбережения весьма актуален, так как цены на энергоресурсы постоянно растут. Поэтому необходимо прорабатывать вопрос снижения энергозатрат. Для этого проводятся энергетические обследования (энергоаудиты) различных элементов здания, в том числе и систем отопления, выдаются рекомендации по экономии тепловой и электрической энергии.

В 2009 году был принят Федеральный закон № 261 – ФЗ «Об энергосбережении и повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации», который обязал выполнять энергетические обследования как крупных энергообъектов, так и отдельных объектов ЖКХ.

На момент принятия данного закона не было единой четкой методики проведения энергоаудита и важность проблемы ее разработки невозможно было переоценить, что многими не раз отмечалось [1...3].

В июле 2018 был введен ГОСТ Р 57576-2017 «Системы энергетического менеджмента. Аудит энергетический. Требования и руководство по применению». Он отражает общие понятия и требования к энергоаудиту, но не содержит подробной методики проведения энергоаудита.

Таким образом, на данный момент ситуация кардинально не поменялась, хотя и были предприняты попытки анализа и систематизации накопленных данных по энергетическим обследованиям. Многими авторами были предложены различные варианты классификации этапов проведения энергетических аудитов [4...8].

Чаще всего выделяется 4...6 этапов, которые можно упрощенно свести к трем основным этапам:

- ✓ подготовительный (заключения договоров и сбор предварительных данных об объекте исследования);
- ✓ проведение энергоаудита (инструментальным и расчетным методами) и анализ полученной информации;
- ✓ согласование полученных результатов.

Комплексный энергоаудит [4] включает в себя исследование и анализ всех энергообеспечивающих систем здания, но системы теплоснабжения являются наиболее энергозатратными и, следовательно, их энергоаудит имеет наибольшее значение для экономии энергии [5]. При этом, как отмечают многие авторы [1...3, 5, 9], энергоаудит социального сектора имеет наибольшую значимость в рамках различных программ экономии энергоресурсов.

По оценкам как отечественных, так и зарубежных экспертов, потенциал экономии электроэнергии в зданиях жилого и общественного сектора равен 30...40 %, а тепловой – около 50 % [10, с. 128]. Структура расхода тепловой энергии элементами и системами здания указаны в табл. 1.

Как видно из табл. 1, основные энергозатраты связаны с компенсацией потерь тепла через ограждающие конструкции здания, поэтому в первую очередь необходимо обращать внимание на снижение потерь тепла через ограждающие конструкции путем утепления здания, а также на соответствие расчетных потерь действительным.

Таблица 1

Структура расхода тепловой энергии элементами и системами здания

Наименование элемента, влияющего на расход теплоты	Относительный расход теплоты от общего количества по зданию, %	Потенциал энергосбережения, %
Система отопления (компенсация потерь тепла):		
✓ наружные стены	30	50
✓ окна	35	50
✓ перекрытие, пол	8	50
Трубопроводы, арматура	2	5
Система вентиляции	15	50
Система горячего водоснабжения	10	30

В целях экономии энергоресурсов по Приказу ректора СамГТУ от 21.02.2011 г. № 1/80 «О проведении энергетического обследования объектов университета» был проведен энергоаудит учебного корпуса №1.

Учебный корпус № 1 СамГТУ расположен в г. Самара по адресу ул. Первомайская, 18. Он представляет собой четырехэтажный лабораторно-аудиторный корпус с цокольным этажом (рис.1).

Целью энергетического обследования данного учебного корпуса СамГТУ являлось обследование различных энергосистем здания, в том числе и систем отопления, в рамках которого производились расчёт тепловых потерь через ограждающие конструкции (потолки, стены, окна, полы) и оценка мощности установленных по факту отопительных приборов в каждом отдельном помещении здания.

В результате расчетов потерь теплоты через ограждающие конструкции здания были определены требуемые мощности приборов отопления, которые сравнивались с мощностью реально установленных в аудиториях отопительных приборов. По результатам данного сравнения установленных и требуемых мощностей была выполнена корректировка

мощности отопительных приборов (уменьшение или увеличение) с целью приведения в соответствие с расчётной мощностью.

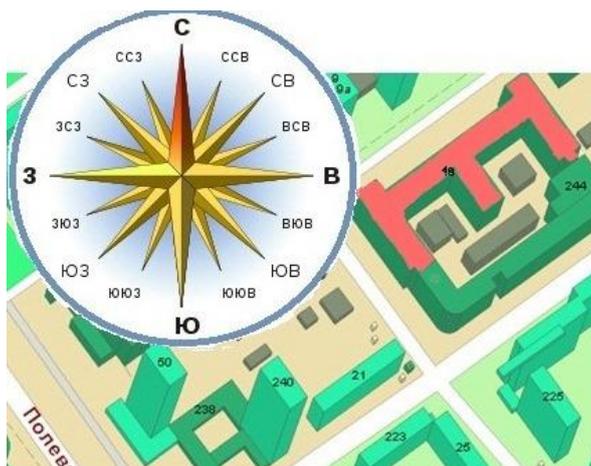


Рис. 1. Ориентация учебного корпуса № 1 по сторонам света

На предварительном этапе энергоаудита изучалась проектная документация и собирались общие сведения об объекте, о системах теплоснабжения здания.

На следующем этапе первым делом производились визуальные и инструментальные исследования здания и выявление реального состояния отопительных систем.

Отопление корпуса производится четырьмя отопительными системами одного типа, обслуживающими разные части здания. Схема расположения отопительных систем приведена на рис. 2.

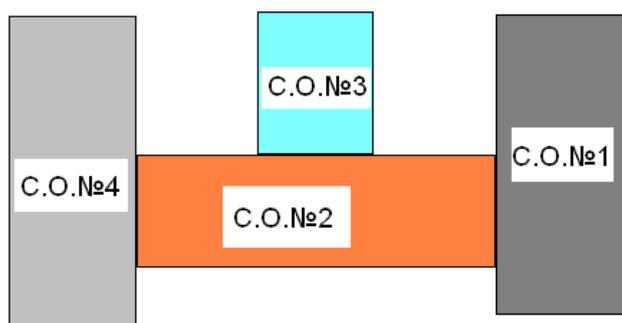


Рис. 2. Расположение систем отопления учебного корпуса № 1

В корпусе № 1 в качестве нагревательных приборов установлены чугунные радиаторы МС–140, номинальной мощностью одной секции 160 Вт, предназначенные для систем отопления всех типов зданий с небольшой высотой подоконников с температурой теплоносителя до 130° С и с рабочим избыточным давлением до 0,9 МПа.

Системы отопления учебного корпуса № 1 однотрубные с верхней разводкой (рис. 3). Отопительные приборы присоединены к стоякам системы отопления последовательно, двухстороннее присоединение выполнено с осевыми замыкающими участками [11, с. 367]. При таком типе системы температура воды на входе в отопительные приборы будет максимальной для верхнего (третьего) этажа и минимальной для нижнего этажа [8].

Для обеспечения требуемой теплоотдачи, соединенных таким образом приборов, нужно обеспечить большой массовый расход теплоносителя в единицу времени, что является недостатком такого типа системы. Еще одним недостатком однотрубной системы является сложности её регулировки, так как изменение параметров работы одного прибора влечет за собой изменения в работе других.

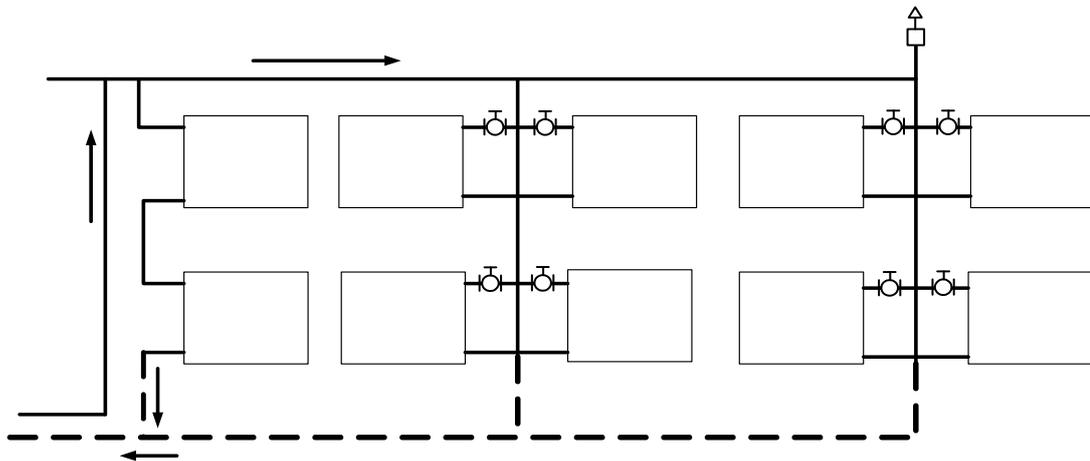


Рис. 3. Принципиальная проектная схема системы отопления учебного корпуса № 1

С целью повышения эффективности работы системы отопления предлагается выполнить ее модернизацию по схеме, приведенной на рис. 4. Однотрубная система по схеме, приведенной на рис.4, выполняется со смещенными перемычками (байпасами) с двух сторон и установкой запорно-регулирующей арматуры на подающих и обратных подводках к отопительным приборам. Это несколько облегчит регулирование температуры в приборе путем прикрытия и открытия клапанов, а также упростит отключение приборов во время ремонта. В случае протечки отопительного прибора наличие перемычки позволяет не отключать от подачи теплоносителя весь стояк, что позволяет исправить ситуацию с наименьшими потерями и в самые короткие сроки. Таким образом, повысится эффективность работы системы отопления в целом.

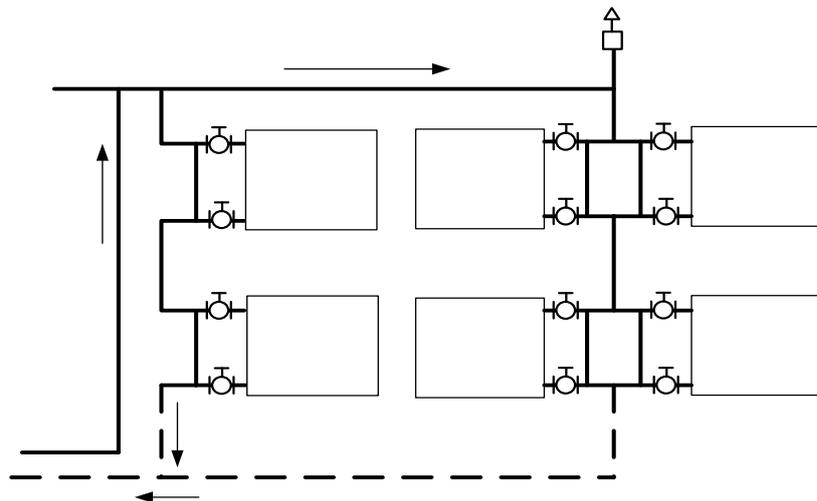


Рис. 4. Принципиальная схема модернизированной системы отопления учебного корпуса № 1

На втором этапе энергоаудита производился расчет тепловых потерь через ограждающие конструкции здания, определение требуемой мощности отопительных приборов и анализ их соответствия проектной документации.

В расчетах были использованы следующие характеристики процесса теплообмена, :  $\alpha_1 = 8,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$  – коэффициент теплоотдачи внутри помещений;  $\alpha_2 = 23 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$  – коэффициент теплоотдачи от стен здания в окружающую среду;  $t_{\text{вн}} = 20^\circ\text{C}$  – температура воздуха внутри помещений;  $t_{\text{нар}} = -30^\circ\text{C}$  – температура наружного воздуха;

$\lambda_k = 0,56 \text{ Вт/(мК)}$  – коэффициент теплопроводности полнотелого глиняного кирпича;  
 $\lambda_{из} = 0,76 \text{ Вт/(мК)}$  – коэффициент теплопроводности силикатного кирпича;  
 $\lambda_{шт} = 0,76 \text{ Вт/(мК)}$  – коэффициент теплопроводности штукатурки;  $R = 0,5 \text{ Вт/(м}^2\text{К)/Вт}$  – термическое сопротивление пластиковых окон;  $R = 0,44 \text{ Вт/(м}^2\text{К)/Вт}$  – термическое сопротивление деревянных окон (двойное остекление в отдельных переплетах);  $R = 0,51 \text{ Вт/(м}^2\text{К)/Вт}$  – термическое сопротивление двухкамерного стеклопакета в одинарном переплете с расстоянием 8 мм.

При расчёте коэффициента теплопередачи наружных стен так же учитывалось изменение толщины кирпичной кладки по этажам.

Воздухопроницаемость окон зависит от их состояния, и в каждом конкретном случае оценивалось их визуальным и инструментальным осмотром с помощью тепловизора, на основе этого принимались значения из диапазонов:  $G_{пвх} = 1,7...2,5 \text{ кг/(м}^2 \text{ ч)}$  – воздухопроницаемость пластиковых окон;  $G_d = 4...10 \text{ кг/(м}^2 \text{ ч)}$  – воздухопроницаемость деревянных окон.

Определение теплотерь в помещениях учебного корпуса № 1 производилось расчетным методом.

Основные потери тепла через стены, крышу и перекрытия определяются по известным из теории теплообмена формулам для многослойной стенки [12], [13, с. 70], используя их термические сопротивления [14, с. 40].

Потери теплоты через конструкции стен, заглубленных в грунте, и пола подчиняются сложным зависимостям, к их расчету применяют упрощенную методику с разбиением этих поверхностей по зонам, и в случае наличия утепляющих слоев в конструкции пола его сопротивление рассматривается как сумма сопротивлений неутепленной и утепленной поверхности [15, с. 77].

Помимо основных тепловых потерь в расчете так же учитывались и добавочные потери, зависящие от ориентации ограждения по сторонам света, и принадлежность их конкретным помещениям (угловые помещения с большим количеством стен и более низкой радиационной температурой или не угловые, имеющие одну наружную стену). Так же учитывались поступление холодного воздуха в помещение путем расчета расхода тепла на нагрев инфильтрационного воздуха [15, с. 95]. Расход инфильтрующегося воздуха через окна и двери определялся с учетом нормируемой воздухопроницаемости [15, с. 84], но следует заметить, что при наличии технической возможности измерения температуры в различных точках помещения и по фасаду здания, расход инфильтрационного воздуха может быть также уточнен по формуле, предложенной Ю. И. Табунщиковым в [16] с учетом изменения температуры по высоте.

При расчете мощности установленных в помещениях отопительных приборов на расчетном режиме работы ( $t_{нар} = -30^\circ\text{C}$ ) принято следующее распределение температуры теплоносителя по этажам:

- ✓ для стояков с пятью этаже-стояками: 4 этаж –  $95/90^\circ\text{C}$ ; 3 этаж –  $90/85^\circ\text{C}$ ;
- ✓ 2 этаж –  $85/80^\circ\text{C}$ ; 1 этаж –  $80/75^\circ\text{C}$ ; цокольный этаж –  $75/70^\circ\text{C}$ , где верхняя цифра – температура воды на входе в прибор, нижняя – на выходе.
- ✓ для стояков с четырьмя этаже-стояками: 4 этаж –  $95/89^\circ\text{C}$ ; 3 этаж –  $89/83^\circ\text{C}$ ;
- ✓ 2 этаж –  $83/77^\circ\text{C}$ ; 1 этаж –  $77/70^\circ\text{C}$ ;
- ✓ для стояков с тремя этаже - стояками:  $95/90^\circ\text{C}$ ,  $90/80^\circ\text{C}$ ;  $80/70^\circ\text{C}$ ;
- ✓ для стояков с двумя этаже – стояками:  $95/80^\circ\text{C}$ ,  $80/70^\circ\text{C}$ .

Влияние остывания теплоносителя при движении от верхнего этажа к нижнему, в расчетах учитывалось корректировкой номинальной мощности приборов по формуле, полученной по аналогии с пересчетом мощности для конвекторов [17], [18, с. 158]:

$$N_{\text{приб}} = N_{\text{ном}} \left( \left( \frac{(t_{\text{вх}} + t_{\text{вых}})}{2} - t_{\text{пом}} \right) / 70 \right)^{1,3}, \quad (1)$$

где  $N_{\text{приб}}$  – мощность одной секции отопительного прибора с учетом его расположения в системе отопления, Вт;  $N_{\text{ном}}$  – номинальная мощность одной секции отопительного прибора МС–140, равная 160 Вт;  $t_{\text{вх}}$  – температура воды на входе в отопительный прибор, °С;  $t_{\text{вых}}$  – температура воды на выходе из прибора, °С;  $t_{\text{пом}}$  – расчетная температура воздуха в помещении (по нормативам для данного типа помещения), °С.

В частности, по формуле (1) для первого этажа были получены значения:

- ✓ для помещения с температурой 22°С  $N_{\text{приб}} = 118,3$  Вт;
- ✓ для помещения с температурой 20°С  $N_{\text{приб}} = 123,9$  Вт;
- ✓ для помещения с температурой 19°С  $N_{\text{приб}} = 126,7$  Вт.

На основе вышеописанной методики были выполнены расчёты потерь теплоты через ограждающие конструкции (стены, окна, полы, потолки) в каждом отдельном помещении и определена требуемая мощность отопительных приборов, необходимая для компенсации этих потерь, которая сравнивалась с установочной мощностью существующих приборов. Следует отметить, что во избежание «недотопа» помещений расчет требуемой мощности отопительных приборов производился с запасом на 5...15 %.

Во многих помещениях установленная мощность оказалась избыточной, в некоторых помещениях (их меньшее количество) она оказалась недостаточной. Для каждого отдельного помещения даны рекомендации по уменьшению или увеличению мощности отопительных приборов.

В табл. 2 приведен пример полученных данных расчетов некоторых аудиторий первого этажа. Видно, что фактическая мощность приборов отличается от требуемой мощности, и в большинстве случаев она превышает расчетные значения.

Таблица 2

Данные расчетов некоторых аудиторий первого этажа учебного корпуса № 1

Номер аудитории	Суммарные расчетные теплопотери, $\Sigma Q$ , Вт	Установлено секций приборов отопления, шт	Фактическая мощность одной секции с учетом расположения прибора, Вт	Фактическая мощность приборов с учетом расположения, Вт	Необходимо секций приборов отопления, шт	Требуемая мощность приборов с учетом коэф. запаса	Рекомендуемые мероприятия	Экономия теплоты от корректировки секций, Вт
№ 100	5028,21	46	109,8	5049,5	49	5279,62	Добавить 3 секции;	-230,12
№ 101	2837,58	34	118,3	4022,2	29	3405,1	Убрать 5 секций;	617,1
№ 102	731,46	11	123,9	1362,9	7	841,18	Убрать 4 секции;	495,6
№ 102	2224,58	31	123,9	3840,9	22	2669,5	Убрать 9 секций;	1115,1
№ 109А	750,68	14	123,9	1734,6	7	900,82	Убрать 7 секций;	867,3
№ 109Б	1501,16	23	123,9	2849,7	15	1801,39	Убрать 8 секций	991,2

Такие расчеты и их анализ был проведен по всем помещениям. Было установлено, что в 70 % случаев установленные мощности превышают требуемые. К тому же в большинстве аудиторий были установлены защитные экраны, которые частично компенсировали «пере-

топы». По результатам обследования были даны рекомендации о перераспределении приборов отопления с учетом требуемого числа секций. Защитные экраны было предложено убрать.

В целом по первому этажу было демонтировано 78 секций, общей тепловой мощностью 10286,8 Вт (0,0088 Гкал/час).

Для всего здания в целом после приведения системы отопления в соответствие с расчетными данными демонтировали 321 секцию, общей тепловой мощностью 43982,8Вт (0,03782 Гкал/час).

Можно посчитать экономию тепла за год от данного мероприятия с учетом продолжительности отопительного периода ( $n_{от}$ ) для данного региона.

Максимальное количество сэкономленного тепла за год,  $q_{max}$ , Гкал/год:

$$q_{max} = N_{демонт} \cdot 24 \cdot n_{от}, \quad (2)$$

где  $n_{от}$  – продолжительности отопительного периода, сут;  $N_{демонт}$  – тепловая мощность демонтируемых секций, Гкал/час.

Так как тепловая мощность приборов определялась на расчетные условия, необходимо произвести корректировку данного значения с учетом средней температуры за отопительный сезон. Тогда действительное количество сэкономленного тепла за год,  $q_d$ , Гкал/год:

$$q_d = q_{max} \frac{(t_{вн} - t_{ср.о})}{(t_{вн} - t_{р.о})}, \quad (3)$$

где  $t_{вн}$ ,  $t_{р.о}$ ,  $t_{ср.о}$  – соответственно внутренняя температура воздуха, расчетная отопительная температура и средняя температура за отопительный период, °С.

Среднюю температуру за отопительный сезон принимают для данного региона по СП 60.13330 «Строительная климатология». Так как в реальности перепады температур по месяцам в холодный период могут отличаться по годам, то имея подробные сведения о них и принимая среднюю температуру за период каждого конкретного года по фактическим данным, можно получить более точную картину.

Если брать средний тариф за год, с учетом периодического повышения цен на тепловую энергию и количества дней отопительного периода для данного региона, то годовая экономия средств составит:

$$\mathcal{E}_{год} = q_d \times \mathcal{C}_{ср.год} = q_{max} \frac{(t_{вн} - t_{ср.о})}{(t_{вн} - t_{р.о})} \cdot \mathcal{C}_{ср.год}, \quad (4)$$

где  $\mathcal{C}_{ср.год}$  – средняя цена на тепловую энергию за текущий год, руб./Гкал.

Распределение экономии за счет реконструкции систем отопления учебного корпуса №1 за 2012...2020 гг. представлено на диаграмме рис. 5.

После проведения энергоаудита в 2011 г. система отопления учебного корпуса № 1 была переоборудована и за период 2011...2020 гг. экономия составила около 2,2 млн. руб. (общая экономия от всех мероприятий энергоаудита будет еще больше). В силу того, что цены на тепловую энергию растут, то эта экономия с каждым годом становится все существеннее.

Кроме корректировки мощности отопительных приборов, дополнительную экономию тепла удалось так же достичь за счет замены имеющихся в здании деревянных оконных конструкций на пластиковые окна. Подобная замена позволяет снизить потери теплоты через оконные конструкции на ~ 30 %. Снижение теплопотерь достигается в основном за счет снижения инфильтрации холодного воздуха в помещения. Так, воздухопроницаемость для деревянных окон, в зависимости от состояния, равна  $G = 4...10 \text{ кг}/(\text{м}^2 \text{ ч})$ , для пластиковых –  $G = 1,7...2,5 \text{ кг}/(\text{м}^2 \text{ ч})$ . Пластиковые окна имеют большое термическое сопротивление, чем

окна в деревянных переплетах, что несколько снижает потери теплоты.

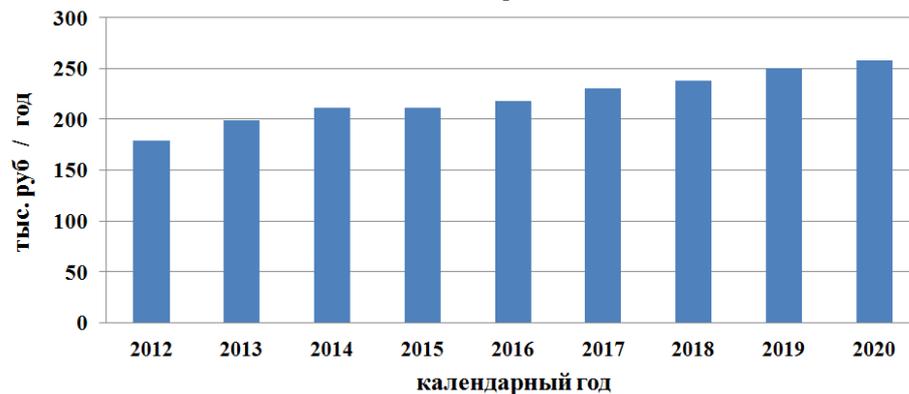


Рис. 5. Распределение экономии тепловой энергии по годам

Так же при проведении энергоаудита было обнаружено плохое состояние тепловой изоляции трубопроводов в чердачном помещении, из-за чего терялось дополнительное тепло через кровлю, а на крыше здания наблюдалось повышенное таяние снега и образование сосулек.

Для оценки эффективности тепловой изоляции магистралей систем отопления, проходящих через чердачное помещение, использовался коэффициент эффективности тепловой изоляции, определяемый по формуле [19, с. 286]

$$\eta_{\text{и}} = \frac{Q_{\Gamma} - Q_{\text{и}}}{Q_{\Gamma}} = 1 - \frac{Q_{\text{и}}}{Q_{\Gamma}}, \quad (5)$$

где  $Q_{\text{и}}$ ,  $Q_{\Gamma}$  – тепловые потери изолированных и неизолированных трубопроводов. Они определялись по формулам теплопередачи для цилиндрической поверхности, при этом температуры на поверхности трубопроводов определялись безконтактными приборами измерения температуры.

Так как коэффициент эффективности тепловой изоляции  $\eta_{\text{и}}$  оказался значительно ниже нормы (менее 0,85), то были расчеты по обоснованию необходимой толщины и типа изоляции для каждого диаметра трубопровода. Подбор требуемой эффективной толщины тепловой изоляции проводился итерационным методом по формуле, предложенной Козиным В.Е. [20]:

$$\ln \frac{d_{\text{из}}}{d_{\text{н}}} = 2\pi\lambda_{\text{из}}R_{\text{из}}. \quad (6)$$

Применение подобранных параметров изоляции позволило сократить теплопотери на 4 % и повысить безопасность за счет снижения температуры поверхности.

Помимо обследования систем отопления в здании проводились так же обследования систем водоснабжения и электроснабжения, которые так же привнесли свой вклад в экономию энергоресурсов.

### Заключение.

В результате анализа имеющихся нормативных документов и научной литературы установлено, что общая единая методика проведения энергоаудита не сформирована, хотя и были предприняты попытки систематизации накопленных знаний. Методом обобщения и аналогии была предложена краткая структура и последовательность основных этапов энергоаудита с обобщением известных расчетных зависимостей для исследования состояния систем теплоснабжения.

Произведенные расчеты показали, что фактически потребляемое системой теплоснаб-

жения количество теплоты на 10...20 % превышает расчётное. С целью приведения мощности отопительных приборов к расчетной мощности были обоснованы рекомендации по корректировке мощности приборов отопления и демонтажу существующих декоративных панелей на отопительных приборах во всех помещениях корпуса, что позволило сократить до 20 % потребления тепловой энергии.

В результате энергоаудита магистралей систем отопления выявлено, что коэффициент эффективности тепловой изоляции магистралей ниже допустимого. В результате подбора оптимальной толщины изоляции для каждого диаметра трубопровода удалось снизить потери теплоты трубопроводами на 4 %.

В дальнейшем с целью увеличения экономических выгод рекомендуется модернизация самой системы отопления с применением более современных схем подключения отопительных приборов.

Полученные результаты могут быть использованы при исследовании систем теплоснабжения аналогичных зданий социального сектора.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Борисова, Н. И.** К вопросу об энергоресурсосбережении и энергоаудите ЖКХ регионов России в новых экономических условиях / Н. И. Борисова // Актуальные проблемы экономики и менеджмента. – 2014. – № 3(3). – С. 11-17.
2. **Зайнутдинова, Л. Х.** Управление энергосбережением бюджетных образовательных учреждений / Л. Х. Зайнутдинова // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2012. – № 1(17). – С. 164-171.
3. **Чех, А. С.** Опыт проведения энергетического обследования в организациях бюджетного сектора / А. С. Чех // Вопросы современной науки и практик. Университет им. В. И. Вернадского. – 2011. – № 4(35). – С. 431-435.
4. **Мищенко, В. Я.** Энергетическое обследование (энергоаудит) объектов социальной сферы / В. Я. Мищенко, В. Н. Баринов, Е. П. Горбанева, А. Н. Назаров // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. – 2012. – № 1(25). – С. 77-84.
5. **Семёнова, В. А.** Особенности и требования проведения энергоаудита социальных организаций / В. А. Семёнова, К. Д. Свешников // Завалишинские чтения 18: сборник трудов конференции. Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения. – Санкт-Петербург, 2018. – С. 232-236.
6. **Немировский, И. А.** Энергоаудит в бюджетных организациях и ЖКХ / И. А. Немировский // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. – 2011. – № 10(92). – С. 62-67.
7. **Пичугин, И. Л.** Роль энергоаудита при разработке энергосберегающих мероприятий в бюджетных организациях / И. Л. Пичугин // Вестник Орловского Государственного аграрного университета. – 2012. – № 5(38). – С. 151-154.
8. **Кузнецова, А. Э.** Энергетическое обследование зданий и сооружений с целью разработки рекомендаций по экономии теплоты / А. Э. Кузнецова, С. С. Леонов, Е. С. Кошелев // Прикладная физика и математика. – 2019. – №2. – С. 7-12.
9. **Игонин, В. И.** Комплексное энергетическое обследование промышленной теплоэнергетической системы «источник энергии – приемник» и учебно-административного здания / В. И. Игонин, Д. Ф. Карпов, М. В. Павлов // Вестник Череповецкого государственного университета. – 2010. – № 4(27). – С. 67-74.
10. **Данилов, Н. И.** Основы энергосбережения: учебник / Н. И. Данилов, Я. М. Щелоков. – Екатеринбург: ГУ СО «Институт энергосбережения», 2008. – 526 с.
11. **Теплотехническое оборудование и теплоснабжение промышленных предприятий** / О. Л. Данилов [и др.]. – М.: Энергия, 1979. – 544 с.
12. **Михеев, М. А.** Основы теплопередачи / М. А. Михеев, И. М. Михеева. – М.:

«Энергия», 1977. – 344 с.

13. **Тепловое оборудование и тепловые сети** / Г. В. Арсеньев [и др.]. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 400 с.

14. **Свистунов, В. М.** Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха объектов агропромышленного комплекса и жилищно-коммунального хозяйства: учебник для вузов / В. М. Свистунов, Н. К. Пушняков. – Санкт-Петербург: Политехника, 2010. – 428 с.

15. **Малявина, Е. Г.** Теплопотери здания: справочное пособие / Е. Г. Малявина. – М.: АВОК-ПРЕСС, 2011. – 144 с.

16. **Табунщиков, Ю. А.** Математическое моделирование и оптимизация тепловой эффективности зданий / Ю. А. Табунщиков, М. М. Бородач. – М.: АВОК-ПРЕСС, 2002. – 194 с.

17. **Чулков, А. А.** Исследование динамических характеристик отопительных приборов / А. А. Чулков, Ю. С. Вытчиков // Вестник СГАСУ. Градостроительство и архитектура. – 2016. – № 4(25). – С. 44-48.

18. **Справочник по теплоснабжению и вентиляции. Отопление и теплоснабжение** / Р. В. Щекин [и др.]. – Киев: Будівельник, 1968. – 440 с.

19. **Соколов Е.Я.** Теплофикация и тепловые сети / Е. Я. Соколов. – М.: – Госэнергоиздат, 1963. – 360 с.

20. **Теплоснабжение** / В. Е. Козин [и др.]. – М.: Высшая школа, 1980. – 408 с.

*Поступила в редакцию 30 января 2021*

## **ASSESSMENT OF ENERGY AUDIT EFFICIENCY IN THE HEAT SUPPLY SYSTEM OF THE EDUCATIONAL BUILDING NO. 1 (SAMARA STATE TECHNICAL UNIVERSITY)**

**A. N. Branfileva**

---

Branfileva Anastasia Nikolaevna, Cand. Sc. (Technical), Associate Professor of the Departments Thermal power stations, Associate Professor of the Departments Theoretical foundations of heat engineering and hydromechanics, Samara State Technical University, Samara, Russia, phone +7(846) 332-42-35; e-mail: branfileva\_an\_samgtu@mail.ru

---

The paper presents the results of the energy audit of the educational building No. 1 of Samara State Technical University (SamSTU). A generalized method for calculating heat losses based on heat transfer formulas is presented, as well as a method for studying a single-pipe heating system. The results of calculating heat losses through building enclosing structures (walls, windows, coverings, floors) are presented. For each classroom on floors 1-4, the required power of heating devices was calculated and the power of currently installed heating devices was estimated in terms of the required and consumed energy. It is established that the amount of heat consumed is 10...20 % higher than the calculated amount. We issued the recommendations for adjusting the power of heating devices in order to bring it to the calculated levels, which allowed reducing heat consumption up to 20 %. Also, studies of the attic space and mains of heating system were conducted, and it was found that the efficiency of thermal insulation of the mains is lower than acceptable. We made calculations required to select the optimal insulation thickness for each pipeline diameter, which saved another 4 % of the total heat loss. As a result of the energy audit, other recommendations were made to improve the single-pipe heating system.

**Keywords:** energy audit; calculation of heat losses; single-pipe heating system; heating devices; required power of heating devices; coefficient of thermal insulation efficiency.

## REFERENCES

1. **Borisova N. I.** *On the issue of energy resource saving and energy audit of housing and communal services in the regions of Russia in the new economic conditions.* Actual problems of economics and management. 2014. No. 3(3). Pp. 11-17. (in Russian)
2. **Zaynutdinova L. Kh.** *Management of energy saving of budgetary educational institutions.* Management and High technologies. 2012. No. 1(17). Pp. 164-171. (in Russian)
3. **Cech A. S.** *The experience of conducting an energy survey in organizations of the budget sector.* Questions of modern science and Practice. V. I. Vernadsky University. 2011. No 4(35). Pp. 431-435. (in Russian)
4. **Mishchenko V. J., Barinov V. N., Gorbaneva E. P., Nazarov A. N.** *Energy assessment (audit) of the social infrastructure.* Scientific Herald of the Voronezh state University of architecture and construction. Construction and architecture. 2012. No. 1 (25). Pp. 77-84.
5. **Semenova V. A., Sveshnikov K. D.** *Features and requirements of the energy audit of social organizations.* St. Petersburg, Zavalishinskies chteniya 18, collection of articles of the conference. St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation. 2018. Pp. 232-236. (in Russian)
6. **Nemirovsky I. A.** *Energy audit in public sector organisations and housing.* Energy saving. Power engineering. Energy audit. 2011. No. 10(92). Pp. 62-67.
7. **Pichugin I. L.** *The role of energy audit in the development of energy saving measures in budget organizations.* Herald of the Orel State University of Agrarian. 2012. No. 5(38). Pp. 151-154.
8. **Kuznetsova A. E., Leonov S. S., Koshelev E. S.** *Energy survey of buildings and structures for the purpose of developing recommendations for saving heat.* Applied Physics and Mathematics. 2019. No. 2. Pp. 7-12.
9. **Igonin V. I., Karpov D. F., Pavlov M. V.** *Complex energy survey of the industrial heat and power system of the «energy source-receiver» and the educational and administrative building.* Herald of the Cherepovets State University. 2010. No. 4(27). Pp. 67-74.
10. **Danilov N. I., Chelokov Ya. M.** *Basics of energy saving.* Yekaterinburg, Institute of energy saving. 2008. 526 p. (in Russian)
11. **Golubkov B. N., Danilov O. L.** *Heat engineering equipment and heat supply for industrial enterprises.* Moscow, Energy. 1979. 544 p. (in Russian)
12. **Mikheev M. A., Mikheeva I. M.** *Basics of heat transfer.* Moscow, Energy. 1977. 344 p. (in Russian)
13. **Arsenyev G. V.** *Thermal equipment and heating networks.* Moscow, Energoatomizdat. 1988. 400 p. (in Russian)
14. **Svistunov V. M., Pushnyakov N. K.** *Heating, ventilation and air conditioning of objects of agro-industrial complex and housing and communal services.* St. Petersburg, Politechnic. 2010. 428 p. (in Russian)
15. **Malyavina E. G.** *Heat loss of the building.* Moscow, AVOK-PRESS, 2011. 144 p. (in Russian)
16. **Tabunschikov Yu. A.** *Mathematical modeling and optimization of thermal efficiency of buildings.* Moscow, AVOK-PRESS, 2002. 194 p. (in Russian)
17. **Chulkov A. A., Vytchikov Yu. S.** *Research of heating appliance dynamic properties.* Herald Samara state University of architecture and civil engineering Urban Planning and Architecture. 2016. No. 4(25). Pp. 44-48. (in Russian)
18. **Shchekin R. V.** *Reference book on heat supply and ventilation. Heating and heat supply.* Kiev, Builder. 1968. 440 p. (in Russian)
19. **Sokolov E. Ya.** *Central heating and heating networks.* Moscow, Gosenergoizdat. 1963. 360 p. (in Russian)

20. **Kozin V. I.** *Heat supply*. Moscow, Publishing of Higher school. 1980. 408 p. (in Russian)

*Received 30 January 2021*

**Для цитирования:**

**Бранфилева, А. Н.** Оценка эффективности энергоаудита системы теплоснабжения учебного корпуса № 1 САМГТУ / А. Н. Бранфилева // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2021. – № 2(17). – С. 25-36.

**FOR CITATION:**

**Branfileva A. N.** *Assessment of energy audit efficiency in the heat supply system of the educational building no. 1 (Samara State Technical University)*. Housing and utilities infrastructure. 2021. No. 2(17). Pp. 25-36. (in Russian)

УДК 628.98

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СВЕТОТЕХНИЧЕСКОГО РЕЖИМА В ПОМЕЩЕНИЯХ МУНИЦИПАЛЬНЫХ ДОШКОЛЬНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ

А. С. Гульбинас, Д. Н. Широкова

Гульбинас Александра Сергеевна, ассистент кафедры начертательной геометрии и графики, ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», Тюмень, Российская Федерация, тел.: +7(3452)28-39-52; e-mail: gulbinasas@tyuiu.ru

Широкова Динара Наилевна, канд. биол. наук, доцент кафедры техносферной безопасности, ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», Тюмень, Российская Федерация; тел.: +7(3452)28-39-56; e-mail: shirokovadn@tyuiu.ru

Рассмотрены основные проблемы, связанные с сохранением и улучшением качества светотехнического режима и повышением энергетической эффективности в главных помещениях детских садов. Поставлена задача определить теоретическую взаимосвязь энергетической эффективности, качественных и количественных характеристик осветительной установки в помещениях дошкольных образовательных организаций. При проведении расчётов приняты некоторые допущения, в том числе принято значение «эквивалентного уровня напряжения», под которым понимают неизменное по значению напряжение. Для решения поставленной задачи разработана теоретическая модель взаимодействия элементов системы «Светотехнический режим». Приведено сравнение методов определения энергетической эффективности существующих осветительных установок в помещениях зданий детских дошкольных организаций на примере удельной мощности энергопотребления. Сформулирован перечень необходимых дополнительных мероприятий для совершенствования светотехнического режима.

**Ключевые слова:** качество жизни; световая среда; энергетическая эффективность; естественное и искусственное освещение; гигиена освещения; светотехнический режим; биологически и эмоционально эффективное освещение; универсальная схема взаимодействия.

Важнейшей задачей освещения помещений детских садов является охрана здоровья и безопасность детей. Практически всегда в помещениях зданий дошкольных образовательных организаций (далее ДОО) присутствует естественное боковое одностороннее освещение, которое подвержено изменениям, зависящим от облачности неба, географического расположения (светового климата), ориентации по странам света, времени суток и особенностей образовательного процесса. В зависимости от времени года и суток наряду с естественным освещением присутствует совмещенное или только искусственное освещение, к которому применяется комплекс требований по качеству, безопасности и эффективности.

Существующий фонд зданий ДОО обширен, и оптимизация существующих объемно-планировочных решений зданий и световой среды под нормативные требования остается актуальной задачей [1...2]. При эксплуатации ДОО необходимыми являются работы по оценке качества освещения. В результате оценки выявляются недостатки существующей осветительной установки (далее ОУ) и составляется план необходимых мероприятий по изменению ОУ в соответствии с условиями воспитывающей среды в ДОО. Важным для ДОО является проведение ежегодных энергосберегающих мероприятий. Стимулирование энергетической эффективности является одной из стратегий, сформулированных международным сообществом в целях сокращения выбросов парниковых газов. В России среди бюджетных муниципальных организаций крупными потребителями энергоресурсов являются образовательные и спортивно-оздоровительные учреждения. Значительными являются и затраты на искусственное освещение. Именно для объектов общественного назначения,

имеющих бюджетное участие в финансировании, в соответствии с Федеральным Законом № 261-ФЗ необходимы мероприятия, направленные на повышение энергетической эффективности. Ежегодно здания, где расположены ДОО, должны добиваться сокращения потребления электроэнергии на 3 % в сопоставимых условиях показателей предыдущего года. Методология энергетического менеджмента организации в соответствии с Национальным стандартом РФ ГОСТ Р ИСО 50001-2012 базируется на принципе «постоянного улучшения», где понятие «постоянное улучшение» – это повторяющийся процесс, приводящий к улучшению энергетической результативности: организация должна определить для себя сама, как добиваться «постоянного улучшения» энергетических результатов.

Оценка и контроль энергетической эффективности освещения и «постоянное улучшение» энергетических результатов является важной практической задачей. В свою очередь, в научной литературе представлено мало работ по систематическому анализу данных о качественных и количественных показателях ОУ с учетом оценки энергоэффективности в помещениях ДОО [3...5]. В таких условиях ощущается потребность в расширении научных представлений о возможностях оптимизации светотехнической среды в помещениях зданий дошкольных образовательных организаций.

Энергетическими результатами для ДОО являются: снижение потребления электроэнергии, повышение энергетической эффективности оборудования и ежегодное снижение удельного энергопотребления. В рамках энергетического обследования рассчитывают для каждого объекта установленную мощность ОУ, годовое фактическое энергопотребление, удельное фактическое энергопотребление и потенциал годовой экономии при проведении энергосберегающего мероприятия [6...8]. Показатели удельного энергопотребления позволяют приближенно оценить общий потенциал экономии электроэнергии. Так, при расчетах в пояснительных записках к энергетическому паспорту объекта упрощенная формула для расчета величины удельной мощности энергопотребления (по установленной мощности ОУ)  $\omega_{уст.м}$ , Вт/м<sup>2</sup>, для  $i$ -го помещения в обследуемом объекте в основном имеет вид:

$$\omega_{уст.м} = \frac{P_{ис} \cdot K_{пра} \cdot n \cdot N}{S_{п}}, \quad (1)$$

где  $P_{ис}$  – мощность одной лампы осветительного прибора  $i$ -го помещения в обследуемом объекте, Вт;  $n$  – количество однотипных осветительных приборов  $i$ -го помещения  $N$  – количество однотипных ламп в осветительном приборе;  $K_{пра}$  – коэффициент потерь в пуско-регулирующей аппаратуре (при наличии);  $S_{п}$  – освещаемая площадь, или площадь помещения, м<sup>2</sup>.

По данным энергетических паспортов, а также в рамках обследования помещений ДОО в 2019 году авторами были определены величины удельной мощности энергопотребления ОУ в помещениях для пяти зданий детских садов Тюмени. Анализ и динамика изменений за 2011...2019 гг. представлена в статье [9]. За исследуемый период удельное энергопотребление для нужд освещения в зданиях детских садов Тюмени значительно уменьшилось: после первых энергетических обследований лампы накаливания стали заменяться люминесцентными лампами, а в дальнейшем реконструировались системы освещения в целом с переходом от люминесцентных источников света к светодиодным. Но стоит заметить, что полученные авторами результаты и результаты обязательного энергетического обследования (в рамках которого для каждого объекта капитального строительства составляется энергетический паспорт) не дают возможности полноценного мониторинга и дальнейшего совершенствования светотехнических режимов в помещениях ДОО.

Анализируя особенности определения удельной мощности энергопотребления за некоторый период, следует сделать вывод, что в формулах расчета количественные и качественные характеристики ОУ не учитываются, что влечет за собой невозможность оценить качество освещения помещений. При этом показатели энергоэффективности улучшены: внедряются новые методы и способы освещения (диммирование, биодинамическое осве-

шение, управление освещением или «умный дом»). Эффективность внедрения современных методов освещения в повседневную практику многократно повышается после процесса обучения пользователей с демонстрацией свойств и особенностей проводимых мероприятий. "Просветительскую функцию" также выполняет контроль качества освещения [10]. В настоящее время результаты обследований систем освещения в помещениях ДОО не публикуются и не доводятся родителям дошкольников и персоналу. Информация о соответствии фактических показателей нормативным не является доступной для потребителя.

Выводы обследования ДОО г. Тюмени:

- ✓ в детских садах приборы учета объема потребления электроэнергии на цели освещения отсутствуют;
- ✓ потребление электроэнергии определить корректно за базовый год невозможно из-за отсутствия достоверных данных в организациях;
- ✓ ежегодная инвентаризация осветительного оборудования и ламп с указанием характеристик в учреждениях не проводится;
- ✓ среднее число работы детских садов отличаются, а расчет суммарного объема потребления электроэнергии основывается на усредненных значениях, а не конкретного учреждения и особенностей работы;
- ✓ ежегодно в электронном виде персоналом учреждений заполняются декларации эффективности;
- ✓ декларация эффективности в рамках контроля качества световой среды формальна и не информативна;
- ✓ персонал детских садов не владеет информацией о современных способах энергосбережения, и не мотивирован в поведенческом энергосбережении;
- ✓ покупка, замена источников света производится в основном внешними работниками, качественные параметры заменяемых источников света не контролируются [9].

Поставленную в статье задачу по выявлению взаимосвязи проводимых энергетически эффективных мероприятий и характеристик ОУ рассмотрим путем теоретического анализа. Используя категориальный метод познания объектов, объединим взаимодействующие элементы в систему с названием «Светотехнический режим в помещении зданий дошкольных общеобразовательных организаций». Для оформления знаний о системе используем категориальный метод «Универсальная схема взаимодействия», который позволяет осмыслить содержание взаимодействия элементов в системе, провести визуализацию процессов рассуждения и предположить сценарии развития и их последствий. Метод является междисциплинарным и относится к категориально-системной методологии, разрабатываемой В. И. Разумовым, Г. Д. Боуш [11, 12]. В основе системы лежит универсальный шаблон (схема) взаимодействия элементов и предполагает некий процесс в рамках метода, где при воздействии определенного источника энергии происходит взаимодействие элементов, а в результате проявляется некоторый эффект. Существование такой системы возможно только при взаимодействии элементов системы и возможности упорядочивания указанных элементов в определенную структуру. При этом систему рассмотрим с использованием графических схем (подготовленных когнитивных шаблонов), так как «использование графических символов для познания объекта исследования служит не только фактором усиления смысла, но и дает возможность графическим способом представить объект исследования и взаимосвязь элементов» [12].

Таким образом, категориальную модель системы «Светотехнический режим в помещении зданий дошкольных общеобразовательных организаций» представим в виде универсальной схемы взаимодействия элементов в системе (рисунок). В системе выделим следующие элементы:

- ✓ «Объект» - «**Помещение ДОО**», основное помещение зданий дошкольных образовательных организаций.

✓ «Субъект» - «**Пользователь**», то есть обучающийся или работник в помещении ДОО.

✓ «Взаимодействие» - «**Техника освещения**», то есть некая техническая организация системы, включая осветительные приборы, источники света, средства управления и контроля.

✓ «Результат взаимодействия» - «**Светотехнический режим**», то есть специфический результат взаимодействия элементов системы: создание и эксплуатация светотехнического режима в помещении.

✓ «Источник энергии (ресурс)» - «**Учредитель**», то есть некоторая энергия извне, необходимая для начала взаимодействия элементов. Таким источником, например, для государственных и муниципальных ДОО, является учредитель в лице субъекта РФ и муниципальных властей.

✓ «Взаимодействующие элементы» определяют содержание и совместно работают для получения результата:

➤ инвестиционные затраты («**Инвестиции**»), то есть финансовые затраты на первоначальное планирование и обустройство системы освещения;

➤ количественные характеристики системы освещения («**Кол.СО**»), то есть соблюдение минимальных требований законодательных актов и предписаний для сохранения здоровья человека;

➤ качественные характеристики системы освещения («**Кач.СО**»), то есть такие характеристики объекта, которые отвечают за качество жизни человека;

➤ энергетическая эффективность систем освещения («**Эн.эф.СО**»), то есть совокупность таких характеристик, которые позволяют соблюдать ежегодное снижение потребления ресурсов извне;

➤ эксплуатационная эффективность систем освещения («**Эксп.эф. СО**»), то есть удобство ОУ с точки зрения эксплуатации, замены источников света и финансовых затрат на эксплуатацию.

✓ «Эффект взаимодействия», или последствия от результата взаимодействия. В данной системе последствия проявляются как многокомпонентный эффект для «Субъекта», «Объекта» и «Учредителя».



Схема взаимодействия элементов в системе «Светотехнический режим»

Начальным этапом создания осветительной установки в помещениях ДОО является потребность гражданина в создании неких условий существования, заложенных в том числе Конституцией РФ (обеспечение мест в ДОО и сохранение физического здоровья). Дошкольные образовательные организации в основном являются муниципальными, поэтому используются ресурсы и возможности Учредителя в лице субъекта РФ и муниципальных

властей из фондов региональных и муниципальных бюджетов в соответствии с распоряжениями Президента РФ, Министерств образования, а также федеральными законами для создания определенных условий, в том числе светотехнических режимов, в основных помещениях зданий дошкольных образовательных организаций. Учредитель является инициатором создания и гарантом обеспечения определенных характеристик светотехнического режима.

В свою очередь, взаимодействующие элементы распределяются на контролируемые элементы (то есть такие элементы, требования к которым заложены в законодательных актах и предписаниях для сохранения здоровья человека) и рассчитываемые элементы (то есть такие элементы, экономический эффект которых может быть рассчитан). Взаимодействующие элементы объединены в общую техническую часть объекта – **техника освещения**. В результате работы техники освещения создается некоторый **светотехнический режим**, который и обеспечивает требования к освещению в помещениях ДОО. Результатами эффекта взаимодействия можно назвать следующие:

Для «**Учредителя**» (косвенный эффект)

- ✓ Дивиденды, в виде материальной и трудоспособной выгоды;
- ✓ Снижение потребления ресурсов и сохранение окружающей среды, то есть осветительные установки в помещениях становятся *энергетически более эффективными*;
- ✓ Для «**Объекта**»
- ✓ Снижение эксплуатационных затрат, то есть системы освещения становятся *эксплуатационно более эффективными*;
- ✓ Для «**Субъекта**»;
- ✓ Здоровьесбережение, то есть сохранение (не ухудшение) существующего здоровья, то есть светотехнический режим становится *биологически более эффективным*;
- ✓ Повышение качества жизни, эмоционального настроения и эстетического наслаждения, то есть системы освещения становятся *эмоционально более эффективными*.

Для сохранения планируемого результата от системы «Светотехнический режим» при эксплуатации необходим постоянный контроль, в том числе для процесса управления и мониторинга ОУ – для этой цели в систему вводится «обратная связь». Именно **постоянный контроль, мониторинг показателей и обратная связь по оценке качества действующей ОУ** является мощным толчком для совершенствования светотехнического режима помещений.

Под совершенствованием светотехнического режима, таким образом, будет пониматься закономерное и качественное изменение **контролируемых взаимодействующих элементов системы**, направленное на оценку и дальнейшее улучшение параметров. Переходя от теоретической схемы взаимодействия элементов в системе «Светотехнический режим» к практике, становится очевидным, что при совершенствовании светотехнического режима недостатком является отсутствие системного видения взаимодействия элементов, и для контроля и оценки качества ОУ целесообразно использовать взаимодействующие элементы комплексно: количественные и качественные характеристики ОУ, показатели энергетической и эксплуатационной эффективности и инвестиционные затраты. Эксплуатационная эффективность мероприятий и инвестиционные затраты рассчитываются при обосновании проводимых мероприятий. Тогда при проведении энергетического обследования и расчета удельной мощности энергопотребления необходимо добавить дополнительные характеристики, не учитываемые в настоящее время при расчетах: необходимо формулу (1) дополнить соответствующими показателями.

Удельную мощность энергопотребления, как один из энергетических показателей эффективности работы ОУ, возможно выразить, применяя метод коэффициента использования светового потока, в котором учтены такие характеристики световой среды, как уровень освещенности в помещении, объемно-планировочное и цветовое решения помещения, загрязненность световых приборов и количество чисток.

Осуществляем некоторые преобразования в формуле (1) с помощью формул определения требуемого светового потока в помещении  $\Phi$ , лм, и световой отдачи  $\eta$ , лм/Вт [10]:

$$\Phi = \frac{E_{\text{ср}} \cdot S_{\text{п}}}{k_{\eta} \cdot MF \cdot U_0}, \quad (2)$$

$$\eta = \frac{\Phi_{\text{ис}}}{P_{\text{ис}}}, \quad (3)$$

получаем формулу (4) для определения удельного энергопотребления для существующих осветительных установок в помещении здания с учетом среднего уровня освещенности и равномерности распределения освещенности:

$$\omega = \frac{E_{\text{ср}} \cdot K_{\text{пра}}}{k_{\eta} \cdot \eta \cdot MF}, \quad (4)$$

где  $P_{\text{ис}}$  – мощность одной лампы осветительного прибора  $i$ -го помещения, Вт;  $N$  – количество однотипных ламп в осветительном приборе  $i$ -го помещения;  $n$  – количество осветительных приборов в помещении;  $K_{\text{пра}}$  – коэффициент потерь в пускорегулирующей аппаратуре (при наличии);  $S_{\text{п}}$  – освещаемая площадь, или площадь помещения;  $\Phi_{\text{ис}}$  – световой поток источника света  $i$ -го помещения;  $E_{\text{ср}}$  – средняя освещенность на рабочем месте для  $i$ -го помещения;  $U_0$  – равномерность распределения освещенности,  $U_0 = \frac{E_{\text{мин}}}{E_{\text{ср}}}$ ;  $MF$  – коэффициент эксплуатации, необходимый для компенсации потерь освещения вследствие загрязнения осветительного прибора;  $\eta$  – световая отдача источника света;  $k_{\eta}$  – коэффициент использования светового потока, зависящий от коэффициентов отражения стен, потолка и пола, а также индекса помещения, типа кривой силы света используемых светильников, выраженный в долях единицы.

В табл. 1 представлены характеристики ОУ, учитываемые в определении удельной мощности энергопотребления для сравнения по установленной мощности и по коэффициенту использования светового потока с пояснением принадлежности к «взаимодействующему элементу» представленной выше схемы.

Таблица 1

Показатели, учитываемые при расчете удельной мощности энергопотребления осветительной установки

Показатель	Учет показателя при определении удельной мощности энергопотребления осветительной установки		«Взаимодействующий элемент»
	по установленной мощности	по коэффициенту использования светового потока	
Установленная мощность	Учитывается	Не учитывается	Энергетическая эффективность
Световая отдача	Не учитывается	Учитывается (при отсутствии значений выбирается табличное значение)	Энергетическая эффективность
Площадь помещения	Учитывается вне зависимости от вида и характера использования	Учитывается в зависимости от вида и характера использования	Все элементы
Особенности осветительной установки	Не учитывается	Учитывается (тип кривой силы света)	Все элементы
Уровень освещенности	Не учитывается	Учитывается	Количественные и качественные характеристики
Особенности объемно-планировочных решений помещений	Не учитывается	Учитывается (индекс помещения)	Количественные и качественные характеристики
Цветовое решение помещений	Не учитывается	Учитывается (коэффициент отражения стен, потолка и пола)	Количественные и качественные характеристики

В табл. 2 приведены данные удельной мощности энергопотребления на освещение, рассчитанные по формулам (1) и (4) для сравнения в пяти основных помещениях зданий, расположенных в различных ДОО. В этих помещениях установлены различные осветительные установки с применением светодиодных или люминесцентных источников света. Во всех помещениях были определены уровни освещенности (в соответствии с ГОСТ 24940-96. Здания и сооружения. Методы измерения освещенности), типы и характеристики осветительных приборов и особенности цветового и объемно-планировочного решения помещений. Для каждого помещения были определены максимально допустимые удельные установленные мощности в зависимости от индекса помещения и нормируемого уровня освещенности (в соответствии с СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95\*). При проведении замеров были приняты некоторые допущения, в том числе принято значение «эквивалентного уровня напряжения», под которым понимают неизменное по значению напряжение.

Таблица 2

## Удельная мощность энергопотребления на освещение в помещениях зданий ДОО

№ помещения	Удельная мощность энергопотребления (по установленной мощности), Вт/м <sup>2</sup>	Максимально допустимая удельная установленная мощность, (Вт/м <sup>2</sup> )	Нормируемая освещенность рабочей поверхности, Лк	Фактическая средняя освещенность рабочей поверхности, Лк	Удельная мощность энергопотребления (по коэффициенту использования светового потока), Вт/м <sup>2</sup>
1	2	3	4	5	6
1	14,7	10	300	300	21,1
2	21,3	11	300	250	18,4
3	3,3	10	300	300	9,3
4	11,9	9	300	150	10,3
5	7,4	10	300	120	8,5

В графе 2 табл. 2 приведены величины удельной мощности энергопотребления (по установленной мощности), определяемые в настоящее время в расчетах по экономии электроэнергии для ДОО в рамках энергетического обследования по формуле (1). В графе 6 табл. 2 рассчитаны величины удельной мощности энергопотребления (по коэффициенту использования светового потока) с использованием модифицированной формулы (4), которая учитывает фактический уровень освещенности в помещении, коэффициент использования светового потока и другие показатели. В соответствии с представленными результатами табл. 2 можно судить не только об удельном энергопотреблении, рассчитанном по коэффициенту использования светового потока (графа 6), но и дать оценку соответствия фактического уровня освещенности (графа 5): фактический уровень освещения в помещениях детских садов часто не соответствует нормативным.

По представленным в табл. 2 данным можно сделать вывод, что удельная мощность энергопотребления по установленной мощности в помещениях № 3 и № 5 не превышает нормативных параметров; в свою очередь удельная мощность энергопотребления по коэффициенту использования светового потока не превышена в помещениях № 3 и № 5, но в помещении № 5 фактический уровень освещенности не соответствует нормативным требованиям, поэтому не может быть применен. По результатам комплексного анализа можно судить, что только помещение № 3 соответствует нормируемым параметрам и не требует реконструкции ОУ.

Важным для ДОО является проведение ежегодных мероприятий по повышению энергоэффективности. Оценка качества освещения в ДОО является также важной задачей. При этом в рамках проведения энергоэффективных мероприятий качественные и количественные

ные характеристики ОУ почти не учитываются и не контролируются, что объясняется отсутствием технических возможностей и соответствующего оборудования в ДОО. В рамках энергетического обследования рассчитывают для каждого объекта установленную мощность ОУ и удельную мощность, что позволяет приближенно оценить общий потенциал экономии электроэнергии. Рекомендуется при оценке общего потенциала в помещениях ДОО учитывать дополнительные характеристики ОУ в помещении: особенности объемно-планировочных решений помещений, цветовое решение помещений, равномерность распределения освещенности и другие (см. табл. 1) и использовать модифицированную формулу расчета удельной мощности энергопотребления (4) в рамках проведения энергетического обследования с учетом использования схемы взаимодействия элементов (см. рисунок).

Для совершенствования светотехнического режима в помещениях ДОО рекомендуются следующие дополнительные мероприятия:

1. Анализ светотехнического режима помещения при проведении энергетического обследования и перед заполнением декларации эффективности с учетом следующих данных:

- ✓ тип и количество существующих осветительных приборов;
- ✓ тип, количество и мощность используемых ламп;
- ✓ особенности объемно-планировочных решений помещений (индекс помещения);
- ✓ цветовое решение помещений (коэффициент отражения стен, потолка и пола);
- ✓ усредненное фактическое количество часов работы системы искусственного освещения;
- ✓ количество чисток плафонов осветительных приборов;
- ✓ фактический уровень освещенности;
- ✓ значения напряжения электросети освещения в начале и в конце измерений освещенности;
- ✓ размеры помещения (площадь), в том числе площадь основных и вспомогательных помещений;
- ✓ количество детей, посещающих детский сад;
- ✓ количество работающего персонала и особенности режима работы;
- ✓ средний фактический срок службы используемых источников света и дополнительного оборудования;
- ✓ определение удельных величин энергопотребления в том числе с учетом модифицированных формул.

2. Мероприятия, направленные на определение дополнительных показателей ОУ:

- ✓ ежемесячная диагностика осветительного оборудования;
- ✓ проверка работоспособности источников света с ведением журнала;
- ✓ заполнение реестра источников света и дополнительного оборудования для осветительных установок с указанием обязательных качественных характеристик, на основании актуальной нормативно-правовой документации и проекта освещения;
- ✓ определение количества времени, необходимого на замену источников света или дополнительного оборудования;
- ✓ определение стоимости работ по техническому обслуживанию осветительных приборов;
- ✓ проведение диагностики светотехнического режима: анализ журнала ежемесячной диагностики с выявлением осветительного оборудования, наиболее часто попадающего под техническое обслуживание;
- ✓ ежегодный мониторинг и определение удельных величин электропотребления с включением указанных данных в декларацию эффективности.

### 3. Мероприятия, направленные на работу с персоналом ДОО:

- ✓ проведение анкетирования коллектива с целью обратить внимание на проблему энергосбережения, составление памятки по энергосбережению;
- ✓ публикация и уведомление персонала о результатах обследований ОУ и о соответствии фактических показателей нормативным.

### **Заключение.**

При анализе методов расчета энергоэффективности систем освещения в дошкольных образовательных организациях в рамках энергетических обследований был сделан вывод о неполноценном выявлении количественных и качественных характеристик искусственных ОУ и возможностей оптимизации энергетических ресурсов. Обоснована необходимость комплексного подхода к совершенствованию световой среды: соблюдение качественных и количественных характеристик, эффективность работы и качество системы освещения, а также сокращение эксплуатационных затрат.

Полученная категориальная система «Светотехнический режим» в помещении зданий ДОО в дальнейшем может быть использована для визуализации процесса рассуждения и обоснования необходимого комплексного обследования ОУ зданий. Совершенствование светотехнического режима на основании схемы становится возможным, например, через моделирование конечного результата. Комплексные обследования ОУ позволят организациям самостоятельно сравнивать и оценивать показатели энергопотребления, планировать и организовывать мероприятия по повышению энергоэффективности, контролировать качество световой среды помещений, а также научиться мотивировать персонал в использовании энергосберегающих методов и новых технологий.

В свою очередь, полученные данные об удельных величинах потребления электроэнергии на нужды освещения по модифицированным формулам дают возможность мониторинга энергоэффективности систем освещения в зданиях. На основании удельных величин электропотребления возможно сравнение электропотребления ОУ различных дошкольных общеобразовательных учреждений в одном городе, регионе и в стране. Полученные результаты послужат основой для разработки рекомендаций для повышения эффективности расходования электроэнергии на нужды освещения и возможного сокращения финансовой нагрузки в ДОО. При комплексном контроле и оценке светотехнического режима в помещениях ДОО создаются условия расширения статистических данных и научных представлений, в том числе и о воздействии искусственного освещения на организм детей.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Степанова, М. И.** Гигиенические проблемы архитектурной среды детских садов / М. И. Степанова // Вопросы школьной и университетской медицины и здоровья. – 2016. – № 1. – С. 32-36.
2. **Кудрявцева, С. П.** Современные направления создания детских образовательных учреждений / С. П. Кудрявцева, Н. С. Долотказина // Архитектура и современные информационные технологии. – 2016. – № 3(36). – С. 13.
3. **Бугров, С. А.** Исследование энергопотребления и разработка методов нормирования и повышения эффективности использования электроэнергии в образовательных учреждениях: автореф. дис. к-та техн. наук: 05.09.03 / С. А. Бугров; Н. Новгород. гос. тех. ун-т им. Алексеева. – Н. Новгород, 2011. – 20 с.
4. **Микаева, С. А.** Экспериментальные исследования характеристик перспективных источников света, приборов и систем: монография / С. А. Микаева, А. С. Микаева. – М.: Изд-во Русайнс, 2017. – 136 с.
5. **Семенов, В. Г.** Энергосбережение и качество света / В. Г. Семенов // Энергосовет. – 2012. – № 1(20). – С. 28-34.

6. **Пилипенко, Н. В.** Энергетическое обследование зданий и сооружений. Энергоаудит: учеб. пособие / Н. В. Пилипенко. – Санкт-Петербург: НИУ ИТМО, 2016. – 72 с.
7. **Фокин, В. М.** Основы энергосбережения и энергоаудита / В. М. Фокин. – М.: Издательство Машиностроение-1, 2006. – 256 с.
8. **Козак, О. А.** Энергетический аудит промышленных и гражданских зданий: учебное пособие / О. А. Козак. — Архангельск: САФУ, 2019. – 168 с.
9. **Gulbinas, A.** The energy efficient lighting in kindergartens / A. Gulbinas, V. Petuhova // E3S Web of Conferences. – 2019. – Vol. 91 – Pp. 05014.
10. **Айзенберг, Ю. Б.** Справочная книга по светотехнике / Ю. Б. Айзенберг, Г. В. Боса. – М.: 2019. – 892 с.
11. **Недолужко, О. В.** Интеллектуальный капитал организации в категориях универсальной схемы взаимодействия его элементов / О. В. Недолужко // Азимут научных исследований: экономика и управление. – 2018. – Т. 7. – № 2(23). – С.242-246.
12. **Боуш, Г. Д.** Методология научного исследования (в кандидатских и докторских диссертациях): учебник / Г. Д. Боуш, В. И. Разумов. – М.: Инфра-М, 2020. – 227 с.

*Поступила в редакцию 14 марта 2021*

## **IMPROVING LIGHTING REGIME IN PREMISES OF MUNICIPAL PRESCHOOL EDUCATIONAL INSTITUTIONS WITH THE PURPOSE OF INCREASING ENERGY EFFICIENCY**

**A. S. Gulbinas, D. N. Shirokova**

---

Gulbinas Alexandra Sergeevna, Assistant of the Department of Descriptive Geometry and Graphics, Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia; phone: +7(3452)28-39-52; e-mail: gulbinasas@tyuiu.ru  
Shirokova Dinara Nailevna, Cand. Sc. (Biology), Associate Professor of the Department of Technosphere Safety, Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia; phone: +7(3452)28-39-56; e-mail: shirokovadn@tyuiu.ru

---

We consider the main problems associated with maintaining and improving quality of the lighting regime and increasing energy efficiency in the main premises of kindergartens. The task is to determine theoretical connection between energy-efficient measures for lighting, carried out in buildings, and the qualitative and quantitative indicators of the lighting installation. To analyze the methods for assessing light environment in the premises of preschool educational institutions, a model of universal interaction of elements in the lighting system was developed. A comparison of methods for determining energy efficiency of lighting systems of existing lighting installations is given. Based on the model, a method for determining the specific electricity consumption for lighting needs for each room is proposed. This method depends on the space-planning and operational characteristics of the room, actual level of lighting in the room as well as features of lighting installations. In conclusion we offer different options of possibilities for improving lighting regime.

**Keywords:** life quality; light environment; energy efficiency; natural and artificial lighting; lighting hygiene; lighting regime; biologically and emotionally efficient lighting; model of universal interaction of elements.

### REFERENCES

1. **Stepanova M. I.** *Hygienic problems of the architectural environment of kindergartens.* Questions of school and university medicine and health. 2016. № 1. Pp. 32-36. (in Russian)
2. **Kudryavtseva S. P., Dolotkazina N. S.** *Modern directions of creating children's educational institutions.* Architecture and modern information technologies. 2016. № 3(36). Pp. 13. (in Russian)

3. **Bugrov S. A.** *Research of energy consumption and development of methods for regulation and improvement of the efficiency of electricity use in educational institutions/* Nizhny Novgorod, Nizhny Novgorod. state. tech. un-t. 2011. 20 p. (in Russian)
4. **Mikaeva S. A.** *Experimental studies of characteristics of promising light sources, devices and systems: monograph.* Moscow, Rusays Publishing House. 2017. 136 p. (in Russian)
5. **Semenov V. G.** *Energy saving and quality of light.* Energy Council. 2012. No. 1(20). Pp. 28-34. (in Russian)
6. **Pilipenko N. V.** *Energy inspection of buildings and structures. Energy audit.* NIU ITMO. 2016. 72 p. (in Russian)
7. **Fokin V. M.** *Fundamentals of energy saving and energy audit.* Publishing house Mashinostroenie-1. 2006. 256 p. (in Russian)
8. **Kozak O. A.** *Energy audit of industrial and civil buildings.* Arkhangelsk, NArFU. 2019. 168 p. (in Russian)
9. **Gulbinas A., Petuhova V.** *The energy efficient lighting in kindergartens.* E3S Web of Conferences. 2019. Pp. 05014.
10. **Eisenberg Yu. B., Boos G. V.** *Reference book on lighting.* 2019. 892 Pp. (in Russian)
11. **Nedoluzhko O. V.** *Intellectual capital of an organization in the categories of a universal scheme of interaction of its elements.* Research Azimuth, Economics and Management. 2018. V. 7. N. 2(23). Pp. 242-246. (in Russian)
12. **Boush G. D., Razumov V. I.** *Methodology of scientific research (in candidate and doctoral dissertations).* Moscow. Infra-M. 2020. 227 p. (in Russian)

Received 14 March 2021

**ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:**

**Гульбинас, А. С.** Совершенствование светотехнического режима в помещениях муниципальных дошкольных организаций с целью повышения энергоэффективности / А. С. Гульбинас, Д. Н. Широкова // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2021. – № 2(17). – С. 37-47.

**FOR CITATION:**

**Gulbinas A. S., Shirokova D. N.** *Improving lighting regime in premises of municipal preschool educational institutions with the purpose of increasing energy efficiency.* Housing and utilities infrastructure. 2021. No. 2(17). Pp. 37-47. (in Russian)

УДК 628.165:662.997

## ИССЛЕДОВАНИЕ ОПЫТНЫХ ОБРАЗЦОВ УСТРОЙСТВ ПОЛУЧЕНИЯ ПРЕСНОЙ ВОДЫ ДЛЯ АВТОНОМНОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ

**В. В. Миронов, Е. А. Жернаков, Ю. А. Иванюшин, Д. В. Миронов**

Миронов Виктор Владимирович, д-р техн. наук, профессор кафедры водоснабжения и водоотведения, ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», Тюмень, Российская Федерация, тел.: +7(922)480-94-44; e-mail: vvmironov@list.ru

Жернаков Евгений Александрович, аспирант кафедры водоснабжения и водоотведения, ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», Тюмень, Российская Федерация, тел.: +7(922)267-22-76; e-mail: 672276@mail.ru

Иванюшин Юрий Андреевич, канд. техн. наук, доцент кафедры водоснабжения и водоотведения, ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», Тюмень, Российская Федерация, тел.: +7(922)262-54-19; e-mail: ivanyushin\_yuriy@mail.ru

Миронов Дмитрий Викторович, канд. техн. наук, коммерческий директор, ООО «ЭЛЕКТРОРАМ», Тюмень, Российская Федерация, тел.: +7(912)923-30-12; e-mail: dvmironov@yandex.ru

Водные и энергетические ресурсы являются одними из наиболее важных факторов развития человеческого общества. Потребность в энергии и в безопасной воде повсеместно растет. Зачастую в регионах с дефицитом пресной воды её производство сопровождается сжиганием углеводородных ресурсов, что негативно сказывается на окружающей среде. Цель работы - разработка энергетически эффективной, экологически безопасной технологии опреснения морской воды и получения пресной воды из загрязненных источников, путем её принудительного испарения с последующей конденсацией влаги. Процесс получения пресной воды осуществляется путем конденсации из предварительно насыщенного воздуха в замкнутом термодинамическом цикле. В работе представлен тепловой баланс модульных установок. Проведены экспериментальные исследования и сравнение производительности двух вариантов опреснительных установок по воде между собой и с теоретически возможной производительностью. Полученные результаты достаточны для автономного снабжения отдельных населенных пунктов питьевой водой и для выращивания пищевых растительных продуктов методом гидропоники.

**Ключевые слова:** опреснение воды; солнечная энергия; автономное водоснабжение; конденсация влаги; гидропоника.

Дефицит пресных вод в современном мире стал фактором, оказывающим влияние на развитие территорий и регионов. По различным прогнозам, спрос на чистую воду увеличится в полтора раз к 2050 году, в связи с ростом численности населения. Как следствие, увеличатся расходы не только на бытовое пользование, но и на орошение земель для выращивания продовольствия. В структуре мирового водопользования сельское хозяйство занимает около двух третей всего объема используемых водных ресурсов. Также крупными потребителями являются энергетика, жилищно-коммунальное хозяйство и промышленность. Следует учитывать, что многие поверхностные источники сегодня имеют критический уровень загрязнения, а грунтовые воды подвержены чрезмерной эксплуатации (в Саудовской Аравии уровень подземных вод опустился на 1,2 км; на восполнение потребуется не менее 25 лет). Согласно прогнозу развития энергетики мира и России, подготовленному ИНЭИ РАН и МШУ Сколково [1] быстрое развитие возобновляемых источников энергии (ВИЭ) позволит им уже к 2040 г. обеспечивать 35...50 % мирового производства электроэнергии и 19...25 % всего энергопотребления. По данным Международного энергетического агентства (IEA), в ближайшие 20 лет (согласно данным World Energy Outlook 2020) прогно-

зируется снижение доли угля и газа в мировом производстве, тем не менее планируется рост доли прочих углеводородов (в том числе сланцевой нефти) и ВИЭ. Хотя гидроэнергетика остается крупнейшим ВИЭ, солнечная энергия обладает наибольшими темпами роста, в том числе за счет снижения затрат на солнечные фотоэлементы. В работе [2] отмечено, после нескольких лет умеренного роста область применения солнечных фотоэлектрических систем на рынке увеличилась, и на данный момент не ограничивается сугубо энергетикой. Это также слаботочные системы (связь и уличное освещение), водоснабжение и опреснение воды, космические технологии и сельское хозяйство, возведение зданий с нулевым энергопотреблением (BIPV) и метеомониторинг. В связи с этим возрастает потребность не только в интенсификации существующих способов очистки поверхностных и подземных вод, а также получения воды опреснительными технологиями, но и в практическом внедрении малогабаритных установок получения пресной воды, работающих при ограниченных энергетических ресурсах. Такие малогабаритные мобильные установки могут успешно эксплуатироваться на удаленных от основной инфраструктуры территориях, в зонах с отсутствием традиционных источников водоснабжения, частных сельских хозяйствах, небольших туристических комплексах, домашних хозяйствах. Высокая востребованность малогабаритных обессоливающих установок имеет место и на нефтегазодобывающих морских платформах, нуждающихся в восполнении запасов чистой воды для обеспечения работы энергетической установки и для удовлетворения бытовых нужд команды.

На сегодняшний день исследователями по всему миру проведено значительное количество работ и реализовано проектов, посвященных альтернативным способам получения пресных вод, и в частности совершенствованию конденсационных методов опреснения морской воды [3, 4, 5]. Однако, повсеместное распространение таких технологий сдерживается их относительно небольшой производительностью при значительных затратах энергии (в среднем  $120 \dots 130$  кВт·час/ $m^3$  воды и объемах выпускаемого в атмосферу углекислого газа  $29,1$  кг/ $m^3$ ) [6].

Использование солнечной энергии в системах конденсации влаги из воздуха обладает потенциалом. Если сравнить карты солнечной инсоляции и водного дефицита, то во многих случаях имеет место совпадение территорий. Экономия топливно-энергетических ресурсов и, соответственно, снижение выбросов  $CO_2$ , за счет внедрения возобновляемых источников энергии сделает конденсационные технологии получения пресной воды экономически доступнее, и в конечном счете, позволит решить проблему водного дефицита в локальном масштабе, что актуально для малых домохозяйств и предприятий, расположенных в прибрежной зоне.

Таким образом, целью данной работы является разработка энергетически эффективной «зеленой» технологии опреснения морской воды и получения чистой, пресной воды путем её принудительного испарения с последующей конденсацией влаги.

Задачи исследования:

- ✓ выполнить теоретическое обоснование технологии получения пресной воды, работающей по принципу принудительного насыщения воздуха влагой и последующей ее конденсацией, с использованием лучистой энергии солнца.
- ✓ разработать новые технические решения для реализации технологии в различных условиях ее применения, с учетом существующего мирового опыта использования конденсационных технологий и устранения их недостатков.
- ✓ провести сравнительные экспериментальные исследования производительности технологии по чистой, пресной воде для различных технических решений, в зависимости от подводимой мощности и условий конденсации.
- ✓ сравнить экспериментальные исследования с теоретически возможной производительностью установок по пресной воде.

Для получения конденсата предлагается использование модульных установок (агрегатов). Принципиальная схема технологического процесса изображена на рис. 1. Принцип

действия модульных установок базируется на насыщении атмосферного воздуха влагой за счёт нагрева морской воды энергией солнца и принудительного ее испарения, с последующей отдачей влаги в холодном конденсаторе, расположенном под уровнем моря [7, 8, 9], то есть на смещении точки росы в соответствующих элементах технологического комплекса.

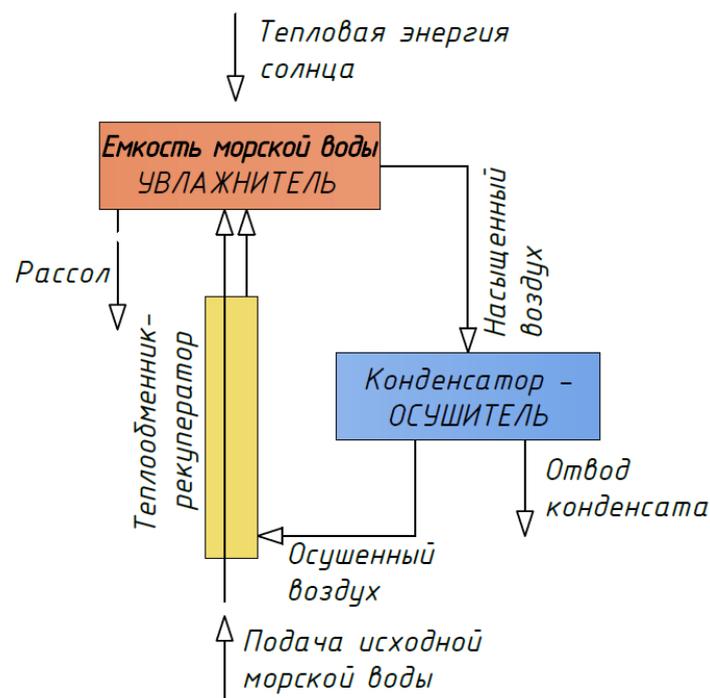


Рис. 1. Принципиальная схема работы модульного агрегата для опреснения морской воды с дополнительным теплообменником-рекуператором

Модульная установка для получения пресной воды из воздуха методом конденсации влаги работает в замкнутом термодинамическом цикле. Рабочим телом для переноса водяных паров является воздух. Реализация замкнутого цикла в технологии позволяет исключить очистку воздуха от посторонних примесей и упростить конструкцию модуля

В процессе работы установки предполагается частичная рекуперация теплоты, выделяемой при конденсации влаги из воздуха, с целью предварительного нагрева поступающей в испаритель морской воды. Теплообменник-рекуператор, кроме нагрева поступающей морской воды, выполняет также функцию нагнетателя морской воды в теплоизолированную емкость (испаритель) за счет разности плотностей холодной окружающей морской воды и нагреваемой в рекуператоре.

Циркуляция паровоздушной смеси в системе осуществляется вентилятором с приводом от солнечных фотоэлектрических элементов. Подробное описание принципа действия модульных агрегатов для опреснения морской воды изложено в работах [8, 9].

Рассмотрим процесс получения пресной воды (конденсата) из воздуха, с использованием вышеописанной технологии. В общем виде, без учета тепловых потерь модульных установок в окружающую среду, энергетический баланс имеет следующий вид:

$$E_s = Q_{air} + Q_{water} + Q_{evo}, \quad (1)$$

где  $E_s$  – подводимая солнечная энергия, Вт;  $Q_{air}$  – затраты тепла, на нагрев поступающего из конденсатора осушенного воздуха, Вт;  $Q_{evo}$  – поглощенная теплота при испарении морской воды внутри испарительной емкости, Вт;  $Q_{water}$  – затраты тепла на нагрев подводимой морской воды в испаритель, Вт.

Подводимая солнечная энергия может быть определена из уравнения:

$$E_s = N \cdot S, \quad (2)$$

где  $N$  – мощность солнечного излучения, Вт/м<sup>2</sup>;  $S$  – площадь инсоляции, м<sup>2</sup>.

В процессе инсоляции происходит повышение температурного потенциала воздуха внутри емкости испарителя, ему сообщается количество теплоты  $Q_{air}$ :

$$Q_{air} = c_{air} \cdot M_{wa} \cdot (T_2 - T_1), \quad (3)$$

где  $T_1$  – температура охлажденного, поступающего в испаритель воздуха, К;  $c_{air}$  – средняя удельная теплоемкость воздуха, Дж/кг·К, в диапазоне изменения рабочих температур;  $M_{wa}$  – массовый расход поступающего воздуха, кг/с;  $T_2$  – температура внутри теплоизолированной испарительной емкости, К.

Влажный воздух рассматривается, как смесь отдельно взятых компонентов: сухого воздуха и водяного пара. В этом случае плотность влажного воздуха можно определить исходя из парциальных давлений по известному выражению [10]:

$$\rho_{wa} = \frac{\phi \cdot p_1 \cdot \mu_{water} + (p_{atm} - \phi \cdot p_1) \cdot \mu_{air}}{R_0 \cdot T_1}, \quad (4)$$

где  $\phi$  – относительная влажность воздуха в емкости буя;  $\mu_{water}$  – молярная масса водяного пара (воды), кг/моль;  $\mu_{air}$  – молярная масса воздуха, кг/моль;  $R_0$  – универсальная газовая постоянная, Дж/(моль·К);  $p_1$  – парциальное давление насыщенного водяного пара, определяемое по зависимости [9]:

$$p_1 = \left( 1.0016 + \frac{3.15 \cdot p_{atm}}{10^8} - \frac{7.4}{p_{atm}} \right) \cdot 611.2 \cdot e^{\frac{17.62 \cdot T_2^C}{243.12 + T_2^C}}, \quad (5)$$

где  $T_2^C$  – температура в емкости испарителя в градусах Цельсия, °С.

Расчет по формулам (4) и (5) показал, что в заданном диапазоне изменения температур и плотностей паровоздушной смеси при атмосферном давлении изменяются незначительно, следовательно, массовые расходы воздуха, осушенного в конденсаторе и насыщенного влагой в емкости испарителя в процессе его циркуляции в замкнутом термодинамическом цикле можно считать одинаковыми.

Теплота, поглощаемая при испарении влаги с поверхности воды в емкости буя  $Q_{evo}$ , Дж/с:

$$Q_{evo} = c_{evo} \cdot M_i, \quad (6)$$

где  $c_{evo}$  – удельная теплота испарения, Дж/кг;  $M_i$  – массовый расход испаряющейся воды, кг/с.

Затраты энергии на нагрев подводимой в емкость испарителя морской воды,  $Q_{water}$ , Дж/с:

$$Q_{water} = c_{water} \cdot M \cdot (T_2 - T_1), \quad (7)$$

где  $c_{water}$  – теплоемкость поступающей морской воды, Дж/(кг·К);  $M$  – массовый расход поступающей в емкость испарителя морской воды, кг/с.

Стоит отметить, что массовый расход, нагреваемой воды  $M$ , и массовый расход испаряемой воды  $M_i$  не равны между собой. Их разница,  $\Delta M = M - M_i$ , является постоянно циркулирующей в емкости испарителя величиной. Расход воды, соответствующий  $\Delta M$ , предназначен для постоянного обновления морской воды в емкости испарителя, так как в процессе работы установки при испарении морской воды общее солесодержание будет возрастать. Чтобы избежать этого, необходима постоянная промывка испарительной емкости нагретой морской водой с малой концентрацией соли.

Количество переносимой воздухом влаги в замкнутом термодинамическом цикле, в единицу времени, должно быть меньше или равно интенсивности испарения нагретой воды с ее поверхности внутри емкости испарителя. Анализ множества эмпирических формул для определения интенсивности испарения воды (кг/м<sup>2</sup>·с) с ее свободной поверхности в зависимости от температуры и скорости воздушного потока показал, что в заданном диапазоне изменения температур и скоростей воздушного потока в емкости испарителя модульной

установки, интенсивность испарения значительно больше, чем возможность переноса влаги массовым расходом паровоздушной смеси, определяемым из баланса энергии с учетом максимальной мощности инсоляции 1кВт единицы поверхности испарения. Для увеличения мощности инсоляции единицы площади возможно применение различных концентраторов солнечной энергии с использованием систем слежения за солнцем на небосводе.

Для определения производительности по пресной воде в зависимости от подводимой мощности вышеописанной технологии опреснения морской воды были сконструированы и изготовлены две установки с площадью поверхности испарения 1 м<sup>2</sup> каждая. Схема и внешний вид плавающих агрегатов представлены на рис. 2 и рис. 3.

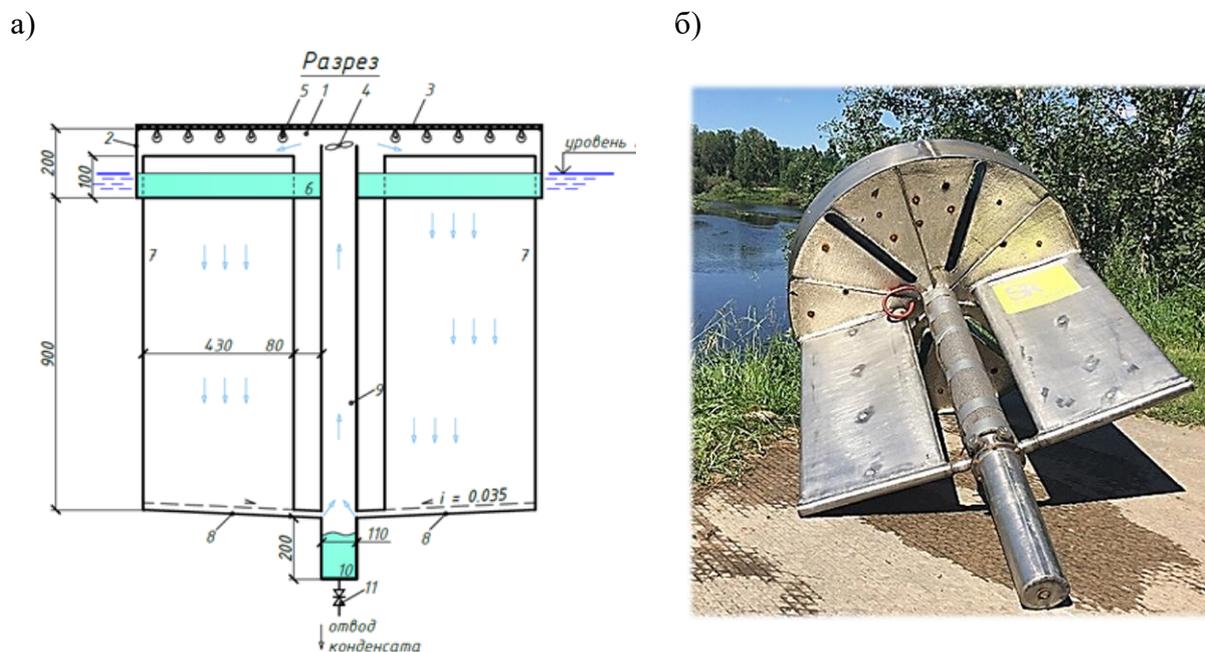


Рис. 2. Схема (а) и внешний вид (б) экспериментальной установки по первому варианту:  
 1 – емкость для нагрева и испарения морской воды; 2 – теплоизолированный корпус емкости испарителя;  
 3 – теплоизолированная поверхность; 4 – вентилятор; 5 – имитаторы солнечного излучения (лампы накаливания); 6 – слой воды в емкости; 7 – теплообменные секции конденсатора;  
 8 – трубки, расположенные с уклоном для сбора конденсата; 9 – коллектор;  
 10 – накопительная емкость для конденсата; 11 – кран для отбора конденсата

Исследования проводились в реальных условиях акватории оз. Безымянное на территории юга Тюменской области и в экспериментальном бассейне лаборатории кафедры водоснабжения и водоотведения Тюменского индустриального университета.

Основные конструктивные элементы экспериментальной установки – емкость-испаритель (1) и конденсатор (7) выполнены из листовой коррозионностойкой стали. Боковые стенки и днище испарителя покрыты черной пористой технической резиной с целью снижения тепловых потерь в емкости и максимального поглощения солнечной энергии в испарителе при испытаниях в реальных условиях акватории.

Вентилятор (4) для принудительной циркуляции паровоздушной смеси, установленный в коллекторе (9), работает на приток осушенного и охлажденного в конденсаторе (7) воздуха. Таким образом, температура и влажность воздушной среды, проходящей через вентилятор, находятся в допустимом рабочем диапазоне для данного оборудования.

Имитирование солнечной инсоляции достигалось путем установки излучателей тепловой энергии, в качестве которых использованы электрические лампы накаливания. Подводимая мощность варьировалась в диапазоне  $N = 0,7 \dots 2,8$  кВт.

Температура окружающей воды с наружной поверхности конденсатора составляла 296 К или 23 °С. Температуры паровоздушной смеси в испарительной емкости и температуры охлажденной паровоздушной смеси после конденсатора изменялись в зависимости от подводимой мощности и замерялись термометрами. Количество конденсата определялось объемным способом с использованием мерных цилиндров, по истечении каждого часа в процессе проведения эксперимента. При проведении исследований объем воды в емкости испарителя поддерживался постоянным.

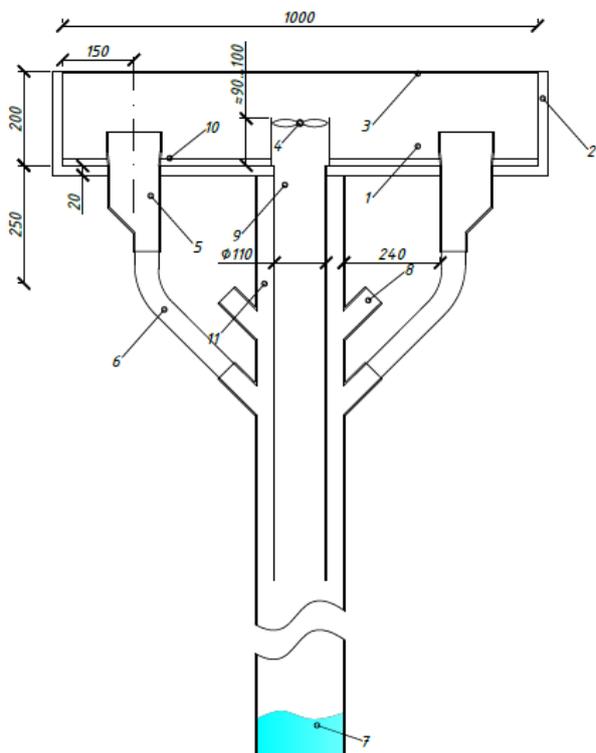


Рис. 3. Схема (а) и внешний вид (б) экспериментальной установки по второму варианту:  
 1 – емкость для нагрева и испарения морской воды; 2 – теплоизолированный корпус емкости испарителя;  
 3 – теплоизолированная поверхность; 4 – вентилятор; 5 – подача насыщенного влагой воздуха;  
 6 – соединительные трубки; 7 – накопительная емкость для конденсата; 8 – подключение для 3-го и 4-го каналов; 9 – коллектор отвода осушенного воздуха; 10 – подложки для солеотложения; 11 – сборный воздушный коллектор

Второй вариант технического решения для опреснения или получения чистой, пресной воды из загрязненных источников представляет собой агрегат с конденсатором, заглубленным в грунт. Это вариант агрегата предназначен для использования на суше, что дает ему некоторые преимущества с вышеописанным плавающим вариантом установки для получения чистой пресной воды. Преимущества заключаются в отсутствии влияния штормовых явлений моря на работу агрегатов.

Второй вариант опреснительной установки с попутным извлечением соли включает принудительное насыщение атмосферного воздуха водяными парами в испарителях, подачу паровоздушной смеси в конденсаторы и отбор влаги. Вариант имеет отличия в том, что холодную морскую воду подают в испарители дозирующими насосами малой мощности из емкостей с температурой морской воды ниже, чем в испарителях. Для предотвращения осаждения солей в испарителях, устанавливают производительность насосов, обеспечивающую концентрацию солей при температуре горячей морской воды в испарителях ниже концентрации насыщенного раствора. Дозирующими насосами создают слабую циркуляцию морской воды между испарителями и емкостью с холодной морской водой. На дне емкостей с холодной морской водой размещают подложки с затравкой из соли, способству-

ющей осаждению солей на подложках. По мере нарастания соли на подложках их извлекают вместе с солью, освобождают от соли и устанавливают назад на дно емкостей с холодной морской водой. Для увеличения мощности солнечного излучения и повышения производительности способа по пресной воде, на испарителях устанавливают светоотражающие панели, следящие за положением солнца на небосклоне (рис. 4).

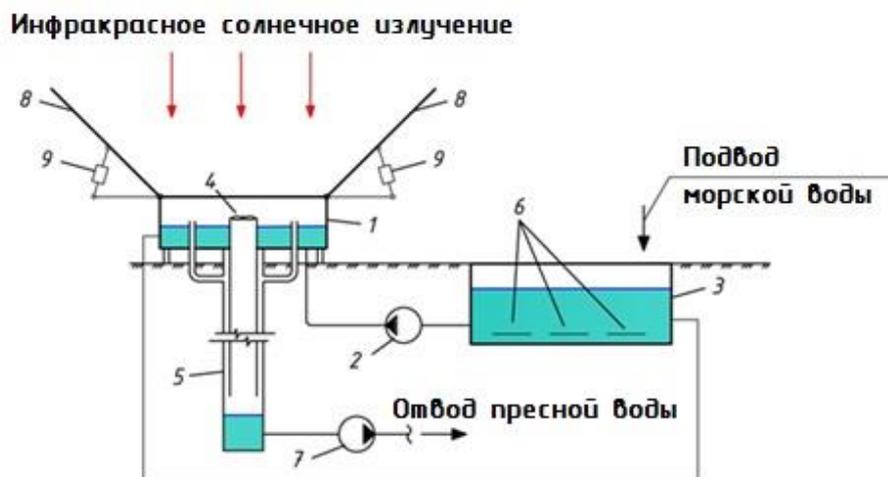


Рис. 4. Схема опреснения морской воды с попутным извлечением соли:

- 1 – испаритель с прозрачной поверхностью; 2 – маломощный дозирующий насос;
- 3 – емкость с морской водой, заглубленная в грунт; 4 – нагнетатель паровоздушной смеси;
- 5 – конденсатор влаги, заглубленный в грунт; 6 – подложки для осаждения и сбора соли;
- 7 – насос для отбора пресной воды; 8 – светоотражающие панели с возможностью изменения угла наклона к горизонту; 9 – привод, следящий за положением солнца на небосводе, позволяющий изменять угол наклона светоотражающих панелей к горизонту

Для обеспечения слабой циркуляции морской воды между испарителями и емкостью с холодной водой, заглубленной в грунт, используют маломощные, дозирующие насосы с приводом от солнечных фотоэлектрических элементов. Сформированную в испарителях паровоздушную смесь принудительно отводят в конденсаторы, заглубленные в грунт с температурой ниже температуры поступающей паровоздушной смеси, обеспечивая тем самым осаждение влаги в конденсаторах. Привод нагнетателей паровоздушной смеси осуществляют от солнечных фотоэлектрических батарей. Для повышения мощности солнечного излучения и производительности способа по пресной воде и морской соли на испарителях устанавливают светоотражающие панели, следящие за положением солнца на небосклоне. Привод следящих за положением светоотражающих панелей по отношению к солнцу осуществляют от солнечных фотоэлектрических батарей.

Способ опреснения морской воды (см. рис. 4) реализуется следующим образом. В испарительную емкость (1) с поверхностью, пропускающей солнечное излучение, дозирующим насосом (2) из емкости (3), заглубленной в грунт, подают морскую воду. Для подачи морской воды используют маломощные дозирующие насосы с приводом от солнечной энергии. Образованная в емкости-испарителе (1) паровоздушная смесь, принудительно, нагнетателем (4) подается в конденсатор (5), заглубленный в грунт с температурой ниже температуры поступающей паровоздушной смеси, обеспечивая осаждение влаги в конденсаторе (5). Слабую циркуляцию морской воды в испарителе (1) для предотвращения солеотложения осуществляют при помощи маломощного дозирующего насоса (2) с приводом от солнечной энергии. Привод нагнетателя паровоздушной смеси (4) осуществляется также за счет энергии солнца. На дне емкости с морской водой (3) размещают подложки (6) с заправкой из морской соли, способствующей отложению солей на подложках. Отбор прес-

ной воды из конденсаторов (5) осуществляют насосом (7). По мере отложения солей на подложках (6) их извлекают из емкости (3), освобождают от солей и снова помещают на дно емкости (3). Для увеличения мощности солнечного излучения и повышения производительности способа по пресной воде и морской соли на испарителях (1) устанавливают светоотражающие панели с изменяемым углом наклона к горизонту, следящие за положением солнца на небосклоне, с приводом следящей системы (9) от солнечной энергии.

Исследования проводились в следующем порядке:

✓ при естественной инсоляции (в натуральных условиях) или при включенных лампах накаливания (использовались в лабораторных условиях), имитирующих солнечную инсоляцию осуществлялся нагрев воды и воздуха, находящихся в системе.

✓ по достижении стационарного режима, выражающегося практическим постоянством температур в характерных узлах системы, производилась откачка образованного в процессе конденсата.

✓ фиксировалось время начала эксперимента; каждый час производилась откачка образованного конденсата и замер его объема.

✓ для каждого рассматриваемого расхода воздуха проводилось не менее трех измерений.

✓ в процессе испытаний контролировались температуры воздуха в характерных узлах системы.

В лабораторных условиях подводимая мощность регулировалась числом ламп. Суммарная подводимая мощность варьировалась от 0,7 до 2,8 кВт. В реальных условиях исследования проводились в течении светового дня, начиная с 10:00 до 17:00; подводимая мощность определялась измерителем солнечной энергии SM 206.

По результатам проведенных экспериментов были построены графические зависимости массового расхода конденсата в зависимости от подводимой мощности при фиксированном значении объемного расхода циркулирующей паровоздушной смеси и температуры окружающей среды (рис. 5).

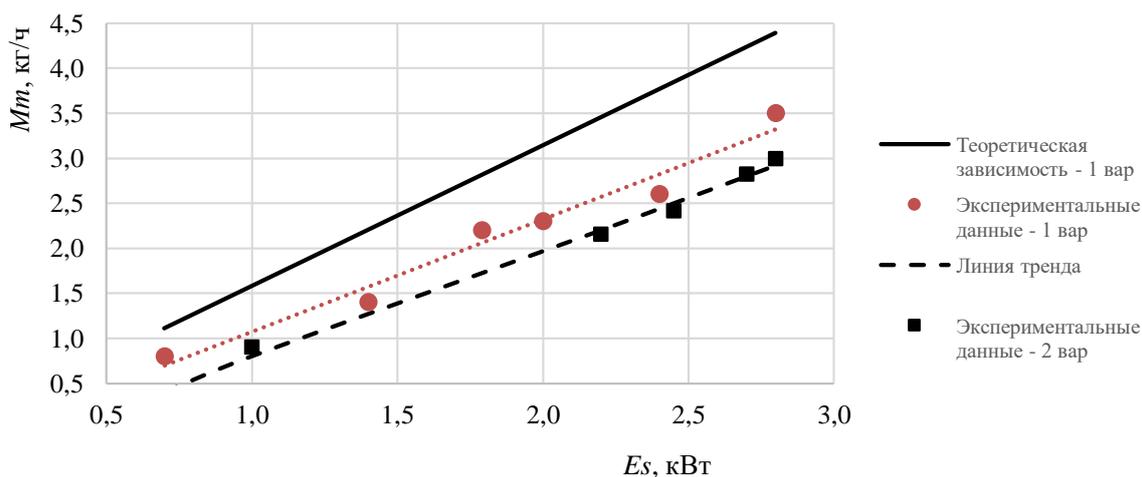


Рис. 5. Сравнение результатов эксперимента с теоретической производительностью по конденсату ( $M_m$ , кг/ч) в зависимости от подводимой мощности ( $E_s$ , кВт)

Верхний предел температуры  $T_1$  внутри теплоизолированной емкости плавающего буя не превышал  $60^\circ\text{C}$ . Это говорит о том, что выпадение солей жесткости внутри испарительной емкости опреснительной установки и накипь практически не образовывалась. Количество накипи, образующейся при температуре воды около  $80^\circ\text{C}$ , в семь раз превышает количество накипи при температуре нагрева до  $60^\circ\text{C}$ . Режим работы модульной установки при температурах более  $70^\circ\text{C}$  недопустим. На рис. 5 представлена также теоретическая графическая зависимость массового расхода конденсата от подводимой мощности, то есть без

затрат тепла на подогрев циркулирующей паровоздушной смеси в установке и частичный подогрев подсаживаемой в испарительную емкость морской воды. Другими словами, подводимая мощность расходуется только на испарение морской воды.

Полученной производительности по пресной воде модульными установками достаточно, к примеру, для капельного полива растений, высаженных в прибрежной пустынной зоне или для теплиц с выращиванием растений методом гидропонии [11, 12], для автономного водоснабжения отдельных зданий и сооружений, и их групп в составе населенных пунктов (расположенных в прибрежной зоне), удаленных от поверхностных и подземных пресноводных объектов. При расчете крупных объектов требуется учет продолжительности светового дня, температур воздуха и воды в рассматриваемом регионе, требуемых объемов поставляемой потребителям воды.

### **Заключение.**

Анализ полученных экспериментальных данных показал, что с увеличением подводимой мощности для нагрева воды в испарителе производительность модульных опреснительных установок по чистой пресной воде растет практически линейно. Сравнение экспериментальных данных с теоретической зависимостью массового расхода конденсата от подводимой мощности показывает, что непроизводительные затраты подводимого тепла на циркуляцию паровоздушной смеси в установке и нагрев поступающей воды в испаритель не превышают 30 % в диапазоне подводимой мощности до 3 кВт.

Достигнутый объем конденсата в единицу времени обеспечивается за счет принудительного испарения воды и циркуляции паровоздушной смеси вентилятором. Потребляемая мощность вентилятора, необходимая для циркуляции паровоздушной смеси, с приводом от фотоэлектрических солнечных батарей не превышает 30 Вт.

Выбранной в экспериментальной установке площади поверхности конденсатора, в данном диапазоне изменения подводимой мощности, достаточно для конденсации влаги и получения приемлемых результатов по производительности опреснительной установки по чистой, пресной воде. В реальных условиях мощность, подводимая к испарителю, более 1 кВт/м<sup>2</sup> может быть достигнута применением концентраторов солнечной энергии и следящих за солнцем систем.

Производительность по воде у агрегата с конденсатором, заглубленным в грунт ниже, чем у плавающего агрегата с конденсатором под уровнем акватории. Это объясняется более низким коэффициентом теплопередачи тепла конденсации в грунт по сравнению с отдачей тепла в воду. Для достижения сравнимых результатов по производительности обоих вариантов агрегатов необходимо увеличить площадь теплообмена конденсатора, заглубленного в грунт.

### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. **Макаров, А. А.** Прогноз развития энергетики мира и России 2019 / А. А. Макарова, Т. А. Митровой, В. А. Кулагина. – М.: ИНЭИ РАН-Московская школа управления СКОЛКОВО, 2019. – 210 с.
2. **Sampaio, P. G. V.** Photovoltaic solar energy: Conceptual framework / P. G. V. Sampaio, M. O. A. González // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. – 2017. – № 74. – Pp. 590-601.
3. **Möller, D.** On the history of the scientific exploration of fog, dew, rain and other atmospheric water. Special Issue: Fog Research / D. Möller // *DIE ERDE*. – 2008. – № 139. – Pp. 11-44.
4. **Brutsaert, W.** Evaporation into the Atmosphere: Theory, History, and Applications / W. Brutsaert. – Springer, Dordrecht, 1982. – 299 p.

5. **Al-Sulaiman, F. A.** Humidification dehumidification desalination system using parabolic trough solar air collector / F. A. Al-Sulaiman, M. I. Zubair, M. Atif, P. Gandhidasan, S. A. Al-Dini, M. A. Antar // Applied Thermal Engineering. – 2015. – № 75. – Pp. 809-816.
6. **Youssefa, P. G.** Comparative Analysis of Desalination Technologies / P. G. Youssefa, R. K. AL-Dadaha, S. M. Mahmouda // Energy Procedia. – 2014. – № 61. – Pp. 2604-2607.
7. **Rajasekar, K.** Effect on air quality and flow rate of fresh water production in humidification and dehumidification system / K. Rajasekar, R. Pugazhenth, A. Selvaraju, T. Manikandan, R. Saravana // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2017. – № 183 (012032).
8. **Mironov, V.** Thermal balance in the process of fresh water production from atmospheric air using the sea waves renewable energy / V. Mironov, Y. Ivanyushin, E. Zhernakov, D. Mironov // MATEC Web of Conferences. – 2018. – № 170(04018).
9. **Mironov, V.** Technology of receiving fresh water from forcedly saturated air through the use of solar energy / V. Mironov, Y. Ivanyushin, E. Zhernakov, D. Mironov, O. Stepanov, O. Sidorenko // E3S Web of Conferences. – 2019. – № 91(04008).
10. **Mandal, G.** Comparative Analysis of Different Air Density Equations / G. Mandal, A. Kumar, D. C. Sharma, H. Kumar // Journal of Metrology Society of India. – 2013. – № 28(1). – Pp. 51-62.
11. **AlShrouf, A.** Hydroponics, aeroponic and aquaponic as compared with conventional farming / A. AlShrouf // American Scientific Research Journal for Engineering, Technology and Sciences. – 2017. – Vol. 27. – № 1. – Pp. 247-255.
12. **Schröder, F. G.** Irrigation control in hydroponics In: Savvas D, Passam H (eds) / F.G. Schröder, J.H. Lieth // Hydroponic Production of Vegetables and Ornamentals. – Embryo: Athens. – 2002. – Pp. 263-297.

*Поступила в редакцию 16 февраля 2021*

## **ANALYSIS OF EXPERIMENTAL SAMPLES OF DEVICES FOR PRODUCING FRESH WATER FOR AUTONOMOUS WATER SUPPLY SYSTEM USING SOLAR ENERGY**

**V. V. Mironov, E. A. Zhernakov, Yu. A. Ivanyushin, D. V. Mironov**

---

Mironov Viktor Vladimirovich, Dr. Sc. (Technical), Professor of the Department of Water Supply and Sewerage, Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia, phone: +7(922)480-94-44; e-mail: vvmironov@list.ru  
Zhernakov Evgenii Alexandrovich, graduate student, Department of Water Supply and Sewerage, Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia, phone: +7(922)267-22-76; e-mail: 672276@mail.ru  
Ivanyushin Yuriy Andreevich, Cand. Sc. (Technical), Assistant Professor, Department of Water Supply and Sewerage, Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia, phone+7(922)262-54-19; e-mail: ivanyushin\_yuriy@mail.ru  
Mironov Dmitriy Viktorovich, Cand. Sc. (Technical), Commercial Director, OOO ELECTRORAM, Tyumen, Russia, phone: +7(912)923-30-12; e-mail: dvmironov@yandex.ru

---

Water and energy resources are among the most important factors in the development of human society. The demand for energy and safe water is growing. In regions with a shortage of fresh water, its production is often accompanied by the combustion of hydrocarbon resources, which negatively affects the environment. The aim of this work is to develop an energy-efficient environmentally friendly technology for the desalination of seawater and the production of fresh water, through its forced evaporation with subsequent moisture condensation. The process of obtaining fresh water is due to pre-saturated air in a closed thermodynamic cycle. The paper presents the thermal balance of modular installations. We offer experimental studies of the performance of two variants of desalination plants. Their comparison with each other and with theoretically possible productivity were carried out. The productivity of the technologies is sufficient for the autonomous supply of drinking water to individual settlements and for the cultivation of plant foods by the hydroponic method.

**Keywords:** water desalination; solar energy; autonomous water supply system; moisture condensation; hydroponics.

## REFERENCES

1. **Makarov A. A., Mitrova T. A., Kulagin V. A.** *Forecast for the development of energy in the world and Russia 2019*. Moscow, ERI RAS – Moscow School of Management SKOLKOVO. 2019. 210 p. (in Russian)
2. **Sampaio P. G. V., González M. O. A.** *Photovoltaic solar energy: Conceptual framework*. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2017. № 74. Pp. 590-601.
3. **Möller D.** *On the history of the scientific exploration of fog, dew, rain and other atmospheric water. Special Issue: Fog Research*. DIE ERDE. 2008. № 139. Pp. 11-44.
4. **Brutsaert W.** *Evaporation into the Atmosphere: Theory, History, and Applications*. Springer, Dordrecht. 1982. 299 p.
5. **Al-Sulaiman F. A., Zubair M. I., Atif M., Gandhidasan P., Al-Dini S. A., Antar M. A.** *Humidification dehumidification desalination system using parabolic trough solar air collector*. Applied Thermal Engineering. 2015. № 75. Pp. 809-816.
6. **Youssefa P. G., AL-Dadaha R. K., Mahmouda S. M.** *Comparative Analysis of Desalination Technologies*. Energy Procedia. 2014. № 61. Pp. 2604-2607.
7. **Rajasekar K., Pugazhenthir R., Selvaraju A., Manikandan T., Saravana R.** *Effect on air quality and flow rate of fresh water production in humidification and dehumidification system*. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2017. № 183(012032).
8. **Mironov V., Ivanyushin Y., Zhernakov E., Mironov D.** *Thermal balance in the process of fresh water production from atmospheric air using the sea waves renewable energy*. MATEC Web of Conferences. 2018. № 170(04018).
9. **Mironov V., Ivanyushin Y., Zhernakov E., Mironov D., Stepanov O., Sidorenko O.** *Technology of receiving fresh water from forcedly saturated air through the use of solar energy*. E3S Web of Conferences. 2019. № 91(04008).
10. **Mandal G., Kumar A., Sharma D. C., Kumar H.** *Comparative Analysis of Different Air Density Equations*. Journal of Metrology Society of India. 2013. № 28(1). Pp. 51-62.
11. **AlShrouf A.** *Hydroponics, aeroponic and aquaponic as compared with conventional farming*. American Scientific Research Journal for Engineering, Technology and Sciences. 2017. Vol. 27. № 1. Pp. 247-255.
12. **Schröder F. G., Liet J. H.** *Irrigation control in hydroponics*. Hydroponic Production of Vegetables and Ornamentals. Embryo, Athens. 2002. Pp. 263-297.

*Received 16 February 2021*

### ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

**Миронов, В. В.** Исследование опытных образцов устройств получения пресной воды для автономного водоснабжения с использованием солнечной энергии / В. В. Миронов, Е. А. Жернаков, Ю. А. Иванюшин, Д. В. Миронов // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2021. – № 2(17). – С. 48-58.

### FOR CITATION:

**Mironov V. V., Zhernakov E. A., Ivanyushin Yu. A., Mironov D. V.** *Analysis of experimental samples of devices for producing fresh water for autonomous water supply system using solar energy*. Housing and utilities infrastructure. 2021. No. 2(17). Pp. 48-58. (in Russian)

---

## ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО. РЕКОНСТРУКЦИЯ, РЕСТАВРАЦИЯ И БЛАГОУСТРОЙСТВО

---

## CITY. RECONSTRUCTION, RESTORATION AND LANDSCAPING

---

УДК 711.1

### АНАЛИЗ ГРАДОСТРОИТЕЛЬНЫХ АСПЕКТОВ РАЗМЕЩЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ НА ПРИМЕРЕ ВОРОНЕЖА

**П. А. Барзенкова, М. А. Васильева, Ю. А. Воробьева, А. С. Волох**

---

Барзенкова Полина Алексеевна, бакалавр кафедры жилищно-коммунального хозяйства, ФГБОУВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7(900)930-77-12; e-mail: p\_barzenkova@mail.ru

Васильева Мария Александровна, бакалавр кафедры жилищно-коммунального хозяйства, ФГБОУВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7(930)402-38-76; e-mail: masha\_vasilyeva00@mail.ru

Воробьева Юлия Александровна, канд. техн. наук, доцент кафедры жилищно-коммунального хозяйства, ФГБОУВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7(473)271-52-49; e-mail: cccp38@yandex.ru

Волох Анастасия Сергеевна, бакалавр кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела, ФГБОУВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7(951)552-10-19; e-mail: voloh.a@mail.ru

---

Статья посвящена вопросам размещения общеобразовательных организаций в условиях существующей застройки города Воронеж. Описываются понятия обеспеченности и доступности образовательных учреждений, обосновывается выбор используемых в работе методов их расчета. Приводятся результаты анализа доступности и обеспеченности школьных образовательных организаций города Воронеж в соответствии с действующими нормами и правилами, а также особенности расчета показателя максимально допустимого уровня территориальной доступности школ в соответствии с местным нормативом градостроительного проектирования. Выявлены закономерности доступности школ города как в исторически сложившихся районах в условиях реконструкции, так и в строящихся новых жилых микрорайонах большой плотности. Объясняется неравномерность размещения общеобразовательных организаций в структуре города Воронеж. Оцениваются условия и возможности проектирования общеобразовательных организаций в условиях недостатка территории. Приводится обоснование, благодаря которому возможно уменьшение площади застройки школы, не нарушая действующие нормативные требования. Рассмотрены недостатки данного подхода, последствия для микрорайона, предлагаются возможные решения образовавшихся проблем.

**Ключевые слова:** общеобразовательные организации; проектирование школ; пешеходная доступность; планировка территорий.

Во многих городах нашей страны, несмотря на различные федеральные программы поддержки и активного развития социальной инфраструктуры, все еще отмечается проблема качества пространственной доступности и вместимости общеобразовательных организаций. Это связано как с износом имеющихся зданий, построенных в советский период в составе комплексной застройки так и недостаточным темпом строительства новых образовательных объектов при активном массовом строительстве жилых микрорайонов.

Согласно официальной статистике в России 9146 школ имеют износ от 50 до 70 % и 6082 – более 70 %. В результате урбанизации и закрытии части школ произошло заметное снижение числа образовательных организаций с 2000 года (68,8 тыс.) до 2018 года

(41,3 тыс.) (рис. 1).

В Воронежской области, как и в России в целом в настоящее время наблюдается, высокий уровень физического износа школ и увеличение количества детей школьного возраста. Всего в городе Воронеж сегодня действует 144 школы, гимназии и лицея, рассчитанных на 100 тысяч детей.

При размещении общеобразовательных организаций в структуре города социально значимыми понятиями являются их обеспеченность и доступность. Причем доступность может быть выражена как радиусом обслуживания, т.е. путём сравнения расстояния между объектами, измеренного по прямой, с нормативным радиусом обслуживания, который может варьироваться в зависимости от региона, так и временем, затрачиваемым на путь к объекту, в сравнении с нормативным временем. Под обеспеченностью понимается достаточное количество мест в школе. [1].

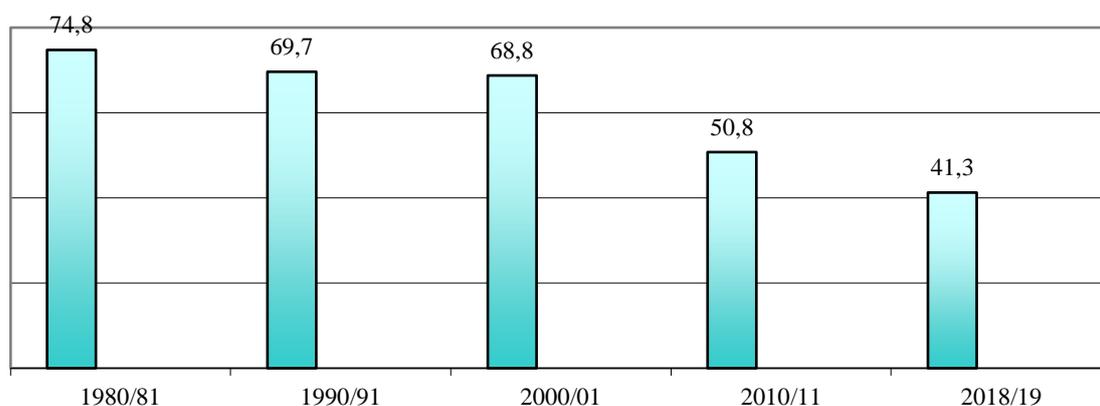


Рис. 1. Изменение количества школ в РФ, тыс.

(Источник: Федеральная служба государственной статистики <https://rosinfostat.ru/uroven-obrazovaniya/#i-3>)

В расчете обеспеченности образовательных организаций можно использовать различные подходы: сравнение соотношения фактического числа мест в общеобразовательных учреждениях к числу жителей (числом мест на 1 тыс. жителей); определение обеспеченности по сменам; определение обеспеченности по фактическому числу мест; определение обеспеченности по числу общеобразовательных учреждений [2...5].

На основании проведенного исследования можно сделать вывод, что оптимальными методиками для оценки потребности в объектах социальной инфраструктуры является методика определения доступности по времени, затрачиваемому на путь к объекту, и методика определения обеспеченности по фактическому числу мест. Достоинством методики определения доступности по времени, в отличие от методики определения доступности на основе радиусов обслуживания, является учёт фактически существующих пешеходных путей, длина которых может значительно отличаться от длины пути, построенного напрямую между объектами. Достоинством методики определения обеспеченности по фактическому числу мест является сравнение фактически существующих данных (число мест и число учащихся), а также возможность применения методики не только для выявления дефицита мест, но также для выявления возможного избытка мест в школах. В то же время, нужно учитывать, что для применения данных методик требуется предварительная работа с исходными данными, формирование наборов которых может потребовать значительного времени [6].

Расчетная потребность в общеобразовательных организациях определяется на основании демографических данных, прогноза спроса и потребностей населения; при реконструкции жилых комплексов – с учетом существующего фонда зданий.

Согласно требованиям к размещению образовательных организаций расстояние от школ до жилых зданий должно быть не более 500 м, а в условиях труднодоступной местности и стесненной городской застройки – 800 м, для сельских поселений – до 1 км. При расстояниях, свыше указанных, для обучающихся живущих в сельской местности, воспитанников организаций для детей-сирот и детей, оставшихся без попечения родителей, организаций социального обслуживания с предоставлением проживания организуется транспортное обслуживание (до организации и обратно). Время в пути не должно превышать 30 минут в одну сторону. Пешеходный подход обучающихся от жилых зданий к месту сбора на остановке не должен превышать 500 м. Для сельских районов допускается увеличение радиуса пешеходной доступности до остановки до 1 км.

Для обучающихся, которые проживают на расстоянии свыше предельно допустимого транспортного обслуживания, а также при транспортной недоступности в период неблагоприятных погодных условий должен быть предусмотрен интернат при общеобразовательной организации.

С каждым годом в Воронеже строится все больше микрорайонов, как правило, застройщики жилых комплексов в своих проектах предусматривают всю инфраструктуру. Однако строительство образовательных учреждений продвигается медленно, в связи с чем растет радиус их пешеходного обслуживания.

Анализ существующего распределения образовательных организаций в структуре города Воронеж позволил выявить некоторые особенности и проблемы доступности школ города (рис. 2).



Рис. 2. Охват общеобразовательных организаций территории г Воронеж с учетом их радиуса доступности

В результате выполненного анализа проектов планировки территорий строящихся школ, обзора различных нормативных документов выделены современные тенденции их размещения в структуре города. В исторически сложившихся районах города, образованных в 60...70 гг. прошлого столетия, велась комплексная застройка малоэтажными и средней этажности зданиями и сегодня наблюдается соблюдение пешеходной доступности школ, но не соблюдается обеспеченность мест для детей в условиях реконструкции территории и строительства новых жилых домов повышенной этажности. В некоторых жилых кварталах школы расположены очень часто, в большом количестве. Для строящихся микрорайонов наблюдается неравномерное размещение общеобразовательных учреждений, а также превышение радиусов пешеходной доступности общеобразовательных учреждений для большого количества жилых групп.

Еще одной особенностью современного размещения школ в структуре города является статус школьного образовательного учреждения и профильное направление [7]. Несмотря на ориентирование городских кварталов, микрорайонов на обеспечение коротких расстояний между объектами повседневного обслуживания, радиус доступности общеобразовательных учреждений перестает играть ключевое значение. Большое количество детей посещает школы, расположенные не рядом с домом в пешеходной доступности, а школы, расположенные в соседних районах, вследствие чего возникает неравномерность обеспеченности школ, их переполненность учащимися или наоборот.

В местных нормативах градостроительного проектирования городского округа города Воронеж (Решение Воронежской городской Думы от 31.08.2016 N 340-IV), приводится значение расчетного показателя минимально допустимого уровня обеспеченности школ, равное 91 чел. на 1 тыс. учащихся и расчетный показатель максимально допустимого уровня территориальной доступности школ, равный 750 м. Данное отличие значения допустимого уровня территориальной доступности объектов общеобразовательных учреждений от значений радиуса пешеходной доступности по СП 42.13330.2016 является причиной неравномерного размещения строящихся школ в новых микрорайонах.

Еще одной проблемой размещения новых объектов общеобразовательных организаций в структуре города Воронеж, следует считать уменьшение площади застройки и нарушения требований безопасности пешеходного движения на отдельных территориях. В результате анализа проектов планировки общеобразовательных организаций, была выявлена следующая закономерность. Часто школы проектируют не на 1100 человек, а на 1101. Это связано с тем, что согласно СП 42.13330.2016 площадь застройки школы на 1100 человек составляет 39600 м<sup>2</sup>, а на 1101 человека – 25323 м<sup>2</sup>. Именно такой подход использовали застройщики микрорайона «Электроника», чтобы уменьшить площадь застройки.

В качестве объекта исследования рассмотрим проект планировки территории (далее ППТ) жилого комплекса «Олимпийский», где школа и прилегающие к ней проезды и парковка относятся к внутриквартальной застройке.

В 2016 г. для расчётного количества населения данного микрорайона в 13210 человек предполагалось размещение 1150 парковочных мест для временного хранения автомобилей. Затем, в 2019 г. был разработан ППТ четырехполосной дороги со скоростным движением 60 км/ч, по которому школа перестала находиться на внутриквартальной территории, а жилой комплекс «Олимпийский» лишился около 630 парковочных мест для временного хранения автомобилей (рис. 3).

При размещении школ в близости с дорогой учитывается уровень распространения шума на прилегающей территории [8, 9]. Согласно СП 51.13330.2011 максимально допустимый уровень звука классных помещений, учебных кабинетов, аудиторий равен 55 дБа, при том, что уровень звука около магистралей городского значения в Воронеже в среднем равен 70 дБа. Следовательно, такая магистраль должна находиться за радиусом обслуживания общеобразовательного учреждения. В уже сложившейся застройке решением может быть ограничение по скорости на участке, в пределах радиуса обслуживания.

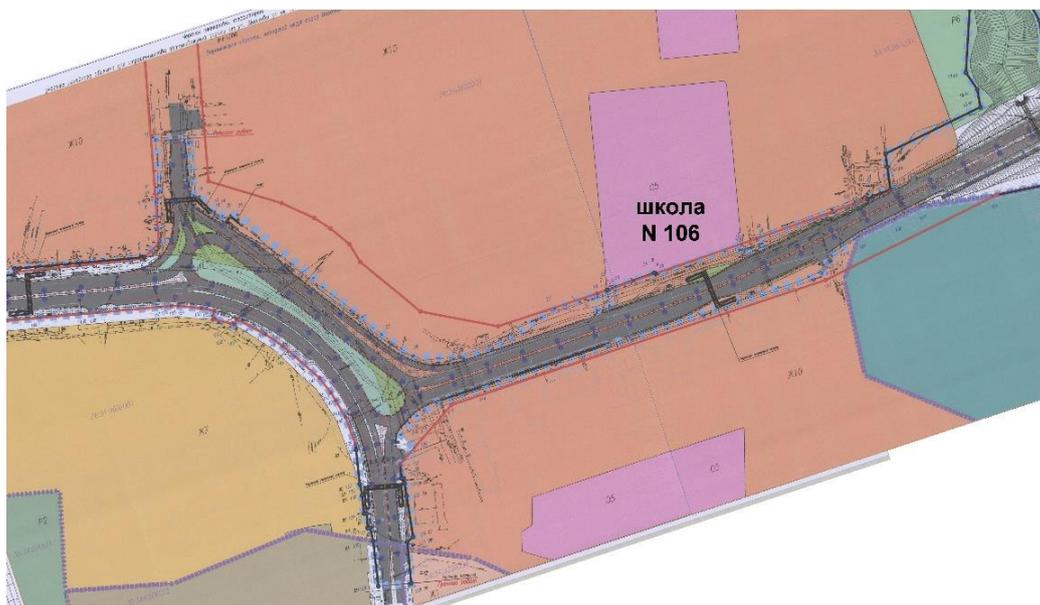


Рис. 3. Фрагмент проекта планировки территории участка линейного объекта от ул. Шишкова до ул. Тимирязева

В целях обеспечения требований безопасности пешеходного движения согласно СП 396.1325800.2018 на территориях жилой застройки и на улично-дорожной сети, прилегающей к территориям детских учреждений, необходимо предусмотреть зоны замедления движения транспорта с разрешенной скоростью 20...30 км/ч.

### **Заключение.**

С позиций градостроительных и социальных характеристик размещения объектов общеобразовательных учреждений в структуре города Воронеж наблюдаются следующие тенденции:

- ✓ для расположения новых школ выделяются в основном территории в новых жилых микрорайонах с повышенной плотностью населения;
- ✓ для строящихся микрорайонов наблюдается неравномерное размещение общеобразовательных учреждений, а также превышение радиусов пешеходной доступности общеобразовательных учреждений для большого количества жилых групп;
- ✓ в условиях реконструкции старой застройки в центральной части города увеличивается плотность населения, но вместимость школ остается без изменений и наблюдается нехватка мест для детей при соблюдении радиуса пешеходной доступности;
- ✓ для многих родителей значительную роль играет статус школьного образовательного учреждения и профильное направление, в связи с чем радиус доступности перестает иметь значение.

### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. **Ильина, Е. Р.** Обзор методик определения доступности социальных объектов и обеспеченности населения социальными объектами/ Е. Р. Ильина // Альманах научных работ молодых учёных Университета ИТМО. Материалы XLIX научной и учебно-методической конференции. – 2020. – С. 94-96.
2. **Пилипенко, О. В.** Методика оценки доступности социально-значимых объектов экологически безопасного биосферно-совместимого города/ О. В. Пилипенко, В. И. Колчунов, Е. А. Скобелева, М. В. Борисов // Строительство и реконструкция. – 2019. – № 4. – С. 101-114.

3. **Михайлова, Т. В.** Развитие общеобразовательных учреждений в России и актуальность проблем архитектурно-планировочной модернизации школ / Т. В. Михайлова, А. Е. Гузева // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. – 2016. – № 1(22). – С. 190-195.

4. **Колчунов, В. И.** Методика расчета показателя доступности общественных зданий и сооружений маломобильным группам населения / В. И. Колчунов, Е. А. Скобелева, Е. В. Брума // Строительство и реконструкция. – 2013. – № 4. – С. 60-68.

5. **Семенова, Ю. А.** Проблемы размещения сети образовательных учреждений на примере Мегино-Кангаласского района / Ю. А. Семенова, Л. И. Данилова // Ресурсная экономика в контексте современных тенденций глобализации. Материалы международной научно-практической конференции. – 2019. – С. 740-742.

6. **Илюхин, А. А.** Обеспеченность дошкольными и общеобразовательными учреждениями городских округов и муниципальных образований Свердловской области / А. А. Илюхин, С. В. Илюхина // Материалы IV Всероссийского симпозиума по региональной экономике. – 2017. – С. 20-23.

7. **Матвеева, А. А.** Проблемы формирования сети школьных образовательных учреждений и их территорий в структуре города Казани // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. – 2015. – № 4(34). – С. 143-152.

8. **Мизилина, Е. Г.** Анализ воздействия автотранспорта на реконструируемую жилую застройку на примере г. Воронеж / Е. Г. Мизилина, Ю. А. Воробьева // Научный вестник ВГАСУ. Серия: Студент и наука. – 2016. – № 9. – С. 77-81.

9. **Воробьева, Ю. А.** Экологический аспект реконструкции исторически сложившейся застройки по улице Сакко и Ванцетти городского округа г. Воронеж / Ю. А. Воробьева, Е. Г. Мизилина // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Высокие технологии. Экология. – 2017. – № 1. – С. 80-83.

*Поступила в редакцию 7 апреля 2021*

## **ANALYSIS OF URBAN PLANNING ASPECTS OF EDUCATIONAL ORGANIZATIONS DISTRIBUTION ON THE EXAMPLE OF VORONEZH CITY**

**P. A. Barzenkova, M. A. Vasilyeva, Yu. A. Vorob'eva, A. S. Volokh**

---

Barzenkova Polina Alekseevna, Bachelor of the Department of Housing and Communal Services, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, phone: +7(900)930-77-12; e-mail: p\_barzenkova@mail.ru

Vasilyeva Maria Aleksandrovna, Bachelor of the Department of Housing and Communal Services, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, phone: +7(930)402-38-76; e-mail: masha\_vasilyeva00@mail.ru

Vorob'eva Yulia Aleksandrovna, Cand. Sc. (Technical), Associate Professor of the Department of Housing and Communal Services, Voronezh State Technical University, phone: +7(473)271-52-49; e-mail: cccp38@yandex.ru

Volokh Anastasia Sergeevna, Bachelor of the Department of Heat and Gas Supply and Oil and Gas Engineering, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, phone: +7(951)552-10-19; e-mail: voloh.a@mail.ru

---

The article is devoted to the issues of educational organizations distribution in the conditions of the existing urban development of Voronezh city. The concepts of availability and accessibility of educational institutions are described, the choice of methods for their calculation used in the work is substantiated. The results of the analysis of the accessibility and availability of school educational institutions of Voronezh city in accordance with the current codes and standards, as well as the specifics of calculating indicator of the maximum permissible level of territorial accessibility of schools in accordance with the local standard of urban planning are presented. Regularities of accessibility of city schools have been revealed both in historically developed districts under reconstruction conditions and in new high-density residential neighborhoods under construction. The uneven distribution of educational institutions in the

structure of Voronezh is explained. The conditions and possibilities of designing general educational organizations in conditions of a lack of territory are evaluated. We provide the substantiation thanks to which it is possible to reduce the building area of the school without violating the current regulatory requirements. We consider the disadvantages of this approach, its consequences for the micro district. As well we offer possible solutions to the existing problems.

**Keywords:** educational organizations; school designing; pedestrian accessibility; open spaces planning.

## REFERENCES

1. **Ilyina E. R.** *Review of methods for determining the availability of social facilities and provision of the population with social facilities.* In the collection: Almanac of scientific works of young scientists of ITMO University. Materials of the XLIX scientific and educational-methodical conference. 2020. Pp. 94-96. (in Russian)
2. **Pilipenko O. V., Kolchunov V. I., Skobeleva E. A., Borisov M. V.** *Methodology for assessing the availability of socially significant facilities in an ecologically safe biosphere-compatible city.* Construction and reconstruction. 2019. No. 4. Pp.101-114. (in Russian)
3. **Mikhailova T. V., Guzeva A. E.** *Development of educational institutions in Russia and the relevance of the problems of architectural and planning modernization of schools.* Scientific journal. Engineering systems and structures. 2016. № 1(22). Pp. 190-195. (in Russian)
4. **Kolchunov V. I., Skobeleva E. A., Bruma E. V.** *Methodology for calculating the indicator of accessibility of public buildings and structures to people with limited mobility.* Construction and reconstruction. 2013. No. 4. Pp. 60-68. (in Russian)
5. **Semenova Yu. A., Danilova L. I.** *Problems of placing a network of educational institutions on the example of Megino-Kangalassky region.* Resource economy in the context of modern trends in globalization. Materials of the international scientific and practical conference. 2019. Pp. 740-742. (in Russian)
6. **Ilyukhin A. A., Ilyukhina S. V.** *Provision of preschool and general education institutions of urban districts and municipalities of the Sverdlovsk region.* Materials of the IV All-Russian Symposium on Regional Economy. 2017. Pp. 20-23. (in Russian)
7. **Matveeva A. A.** *Problems of the formation of a network of school educational institutions and their territories in the structure of the city of Kazan.* Izvestia of the Kazan State University of Architecture and Civil Engineering. 2015. No. 4(34). Pp. 143-152. (in Russian)
8. **Mizilina E. G., Vorobieva Yu. A.** *Analysis of the impact of vehicles on the reconstructed residential development on the example of the city of Voronezh.* Scientific Bulletin of VGASU. Series Student and Science. 2016. No. 9. Pp. 77-81. (in Russian)
9. **Vorob'eva Yu. A., Mizilina E. G.** *The ecological aspect of the reconstruction of the historically formed buildings on Sakko and Vanzetti streets of the city district of Voronezh.* Scientific Bulletin of the Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering. Series: High technologies. Ecology. 2017. No. 1. Pp. 80-83. (in Russian)

*Received 7 April 2021*

## ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

**Барзенкова, П. А.** Анализ градостроительных аспектов размещения образовательных организаций на примере Воронежа / П. А. Барзенкова, М. А. Васильева, Ю. А. Воробьева, А. С. Волох // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2021. – № 2(17). – С. 59-65.

## FOR CITATION:

**Barzenkova P. A., Vasilyeva M. A., Vorob'eva Yu. A., Volokh A. S.** *Analysis of urban planning aspects of educational organizations distribution on the example of Voronezh City.* Housing and utilities infrastructure. 2021. No. 2(17). Pp. 59-65. (in Russian)

## ЭКОЛОГИЯ И БЕЗОПАСНОСТЬ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ ECOLOGY AND SAFETY OF THE URBAN ENVIRONMENT

УДК 504.055:53.087

### О МЕТОДИКЕ ДИСТАНЦИОННОГО МОНИТОРИНГА СВЕТОВОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ГОРОДОВ

**Б. А. Попов, Н. Б. Хахулина, Н. А. Драпалюк**

Попов Борис Алексеевич, канд. сел.-хоз. наук, доцент кафедры кадастра недвижимости, землеустройства и геодезии, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7(915)547-27-94; e-mail: b.p.geo@yandex.ru

Хахулина Надежда Борисовна, канд. техн. наук, доцент кафедры кадастра недвижимости, землеустройства и геодезии, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7(905)654-09-93; e-mail: hahulina@mail.ru

Драпалюк Наталья Александровна, канд. техн. наук, доцент кафедры жилищно-коммунального хозяйства, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7(910)241-01-35; e-mail: u00076@vgasu.vrn.ru

В работе рассматривается проблема комплексного влияния освещения на состояние городских экосистем. Определены научные и практические градостроительные задачи, для решения которых необходимы знания оптических параметров городской среды. Приведены примеры отрицательного воздействия избыточного освещения и непродуманных спектральных композиций на здоровье человека и других живых существ. Представлен подход к анализу параметров освещенности городских территорий. Выполнен анализ возможностей фотограмметрических методов при организации мониторинга параметров светового загрязнения городов. Дается описание анализа оптических характеристик светового поля по цветным и черно-белым изображениям. Предложена методика фотограмметрической регистрации параметров светового загрязнения городов. Дается описание повышения достоверности анализа цифровой информации об оптических параметрах территорий с использованием эталонов.

**Ключевые слова:** световое загрязнение; городская экосистема; городская среда; освещённость; фотограмметрия; дистанционное зондирование, методы дешифрирования.

#### ***Введение.***

Световое загрязнение атмосферы – это воздействие искусственного света на ночное небо. Причиной светового загрязнения, как правило, является непродуманное искусственное освещение города и прилегающих к нему территорий, излишняя архитектурная подсветка зданий, светящиеся рекламные щиты и неэффективная конструкция некоторых систем освещения.

Большая часть такого искусственного освещения, как правило, направляется или отражается вверх от земли. Это приводит к появлению над городом значительных световых аномалий. Световое загрязнение неба над городами может усиливаться под воздействием рассеянных в воздухе частиц пыли, которые дополнительно преломляют, отражают и рассеивают излучаемый свет.

Комплексное влияние освещения на состояние городских экосистем до сих пор представляет собой сложное и пока еще мало изученное явление, поскольку имеет тесные связи с различными метеорологическими, биологическими и физико-энергетическими факторами городской среды [1, 2, 3, 4, 5, 6]. Между тем, без этих знаний невозможно разработать комплексную концепцию искусственного освещения городов, которая должна учитывать не только энергетические, экономические, эстетические, но и экологические особенности

городской среды. [7, 8, 9].

Знание оптических параметров городской среды в настоящее время становится все более необходимым для решения многих научных и практических градостроительных задач. К ним относятся: установление границ физического воздействия населенных пунктов, оценка развития зон различного функционального назначения, анализ динамики урбанизации территорий, оценка степени благоприятности территорий для жизни населения, анализ распространения и состояния видов городской растительности, увеличения их биомассы, влияние освещенности на биоритмы живых организмов и растений и многое другое.

Учет влияния комплекса факторов на особенности светового режима городов очень сложен и справедлив лишь для некоторых частных математических моделей. При этом точность полученных результатов, как правило, оказывается недостаточной. Очевидно, что необходим другой подход к решению проблемы, другие методы и фиксируемые параметры. Архитекторы и градостроители должны получить наглядный информационный образ освещения городских территорий, документально подтверждающий степень его взаимодействия с городской средой.

Задача состоит в том, чтобы получить сведения не только об оптических параметрах городской атмосферы, но и о рассеивающих свойствах атмосферы на различных высотах, мало доступных для изучения традиционными методами. Необходимо использовать экспериментальные методы исследования, основанные на синхронных измерениях освещенности отдельных участков территории и эталонных калиброванных излучателях освещенности, например, прожекторах.

***Влияние искусственного света на здоровье человека и состояние экосистем города.***

В большинстве случаев избыточное освещение или непродуманные спектральные композиции вызывают у человека нарушение сна, подавление мелатонина, головные боли, утомление и раздражительность, повышенную тревожность, ухудшение иммунитета, памяти, преждевременное старение. В некоторых случаях искусственный свет может вызывать нарушения зрения человека, такие как повреждение сетчатки глаз и даже генетические мутации, что подтверждается многочисленными медицинскими исследованиями.

Ряд исследователей подтверждают, что ночное искусственное освещение для отдельных видов живых организмов может быть, как полезным или нейтральным, так и вредным. Однако его наличие неизбежно отрицательно воздействует на состояние экосистемы. Так, уличные фонари привлекают множество насекомых, а, следовательно, и насекомоядных животных, например, летучих мышей и птиц. При этом меняются сложившиеся конкурентные отношения, и разрушаются естественные пищевые связи, что наносит физиологический вред городским живым организмам и способствует распространению болезней, переносчиками которых являются эти животные и птицы.

Искусственный свет на высоких конструкциях часто дезориентирует мигрирующих птиц, которые гибнут из-за привлечения внимания к высоким башням [10].

Световое загрязнение вокруг городских водоемов нарушает жизненный цикл зоопланктона, что мешает ему питаться водорослями. Это приводит к зарастанию водоемов, цветению воды в городских водоемах и снижению качества питьевой воды.

Естественный поляризованный свет является источником информации для многих животных. Искусственное нарушение естественного поляризованного освещения вызывает неадекватное поведение некоторых живых организмов и вносит изменения в их экологические взаимодействия [11, 12].

Световое загрязнение серьезно влияет и на физиологию растений. Например, насекомые перестают опылять растения, цветы которых раскрываются ночью, так, как перестают ориентироваться во времени суток, что приводит к уменьшению видов городской растительности и ухудшению экологического состояния города [13].

### ***Подход к анализу оптических процессов городских территорий.***

Анализ оптических процессов городской атмосферы должен включать в себя несколько этапов.

На первом этапе необходимо выявить и учесть главные источники и факторы, формирующие световые особенности атмосферы, вызывающие развитие аномальных оптических и энергетических процессов на территории города.

Задача второго этапа заключается в анализе и выделении наиболее опасных для экосистем города источников оптического излучения и антропогенных факторов, вызывающих негативные процессы.

Третий этап должен включать в себя оценку устойчивости экосистемы к антропогенному световому нарушению и, как следствие, проверку соответствий оптических параметров среды функциональному зонированию территории.

Четвертый этап заключается в составлении прогноза возможных изменений и оценки происходящих процессов.

Такой подход позволит комплексно изучить особенности освещения городских экосистем при решении различных задач градостроительства, с учетом всех их взаимосвязей. При этом необходимо использовать фотометрические критерии оценки оптических сигналов, т.е. измерение энергетических характеристик светового поля.

Световые характеристики атмосферы города характеризуются оптическими сигналами, создаваемыми природными источниками света и источниками искусственного оптического излучения. Скопление городов и крупные промышленные центры в результате своей жизнедеятельности значительно изменяют параметры естественной освещенности Земли, создавая в приземных слоях атмосферы обширные световые аномалии. В результате на территории, подверженной воздействию города возникают оптические эффекты и явления, приводящие к нарушению естественного светового режима экосистемы города.

Город в значительной степени меняет параметры своей естественной освещенности, создавая множество дополнительных оптических и микрометеорологических связей, приводя к оптическим и температурным контрастам городских территорий. В связи с этим, обменный поток оптических излучений города необходимо полнее учитывать не только для решения городских экологических задач, но и при архитектурных разработках и расчетах оптимального расхода энергии на освещение.

Однако, тот факт, что оптические характеристики атмосферы подвержены большим изменениям во времени и пространстве, а процессы их взаимосвязи с метеорологическими параметрами до сих пор мало изучены, значительно затрудняет, а порой делает невозможным использование традиционных статистических методов и математических моделей для изучения оптических процессов в атмосфере. Точечные наземные замеры оптических параметров местности также не дают полноценной картины происходящих явлений. В этом заключается причина того, что исследования оптических особенностей городской атмосферы до сих пор носит лишь описательный характер и не обеспечивает получение полноценных практических результатов. Выход из этой ситуации следует искать в использовании иных методов контроля.

### ***Анализ возможностей фотограмметрии при организации мониторинга параметров светового загрязнения городов.***

Известно, что на фотоснимке оптические параметры фиксируются на значительных расстояниях и в широком диапазоне длин волн.

При анализе глобальных и региональных оптических явлений следует использовать мелкомасштабные (в том числе космические) снимки. Они дают возможность следить за развитием городов, их слиянием и за границами их антропогенного воздействия, что не отражается ни на каких картографических материалах. При этом на снимке выявляются истинные физические границы города, района, промышленного предприятия (рис. 1).

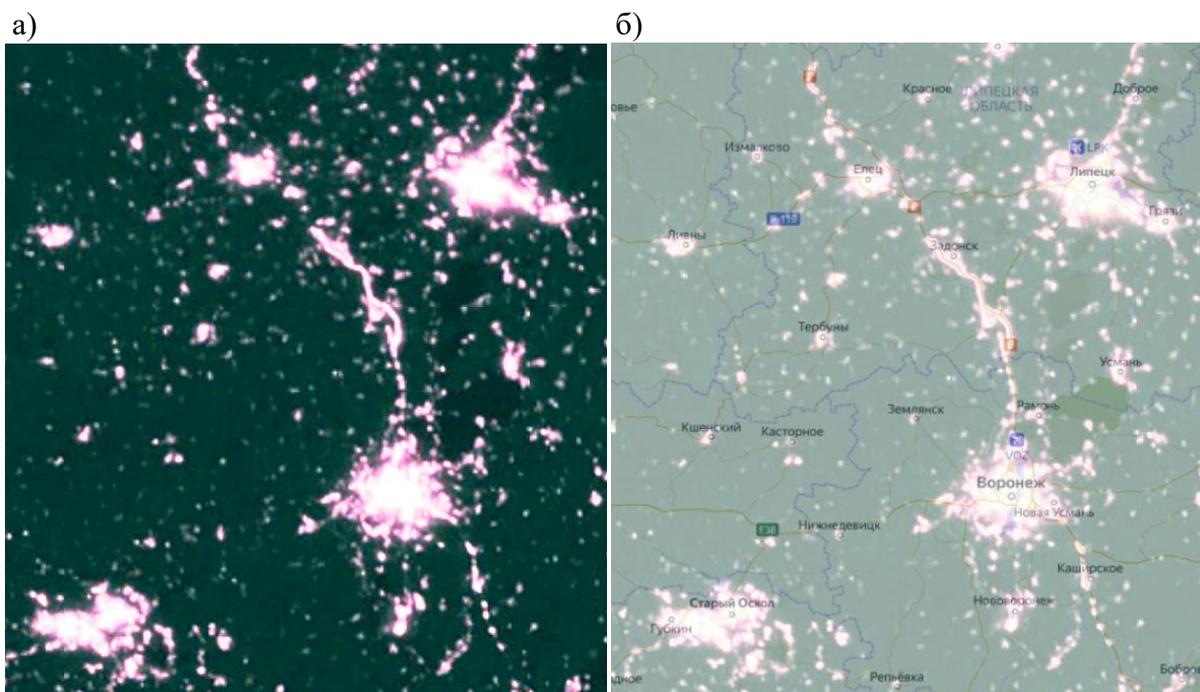


Рис. 1. Карта засветки: а – ночной космический снимок;  
б – ночной снимок, совмещенный с картой

[Источник: URL: [http://www.etomesto.ru/map-atlas\\_night/](http://www.etomesto.ru/map-atlas_night/) (дата обращения: 02.04.2021)]

При изучении локального светового загрязнения лучше пользоваться крупномасштабными снимками, так как увеличение мелкомасштабных изображений, как правило, приводит к появлению широкой гаммы плавных световых переходов, снижающих точность выделения участка с определенными оптическими характеристиками (рис. 1, а).

Для анализа оптических параметров атмосферы города максимальной информативностью обладают цветные и многозональные снимки, так как человеческий глаз уверенно различает на снимке более 100 цветовых оттенков и лишь 8-10 черно-белых градаций. Более того, по цветным снимкам можно судить даже о частотных параметрах антропогенного излучения, т.к. в некоторых градациях длин волн (нм) излучения имеют четко определенные цвета [14]:

390...440нм – фиолетовый;	550...575 нм – желто-зеленый;
440...480нм – синий;	575...585 нм - желтый;
480...510 нм – голубой;	585...620 нм – оранжевый;
510...550нм – зеленый;	620...770 нм – красный.

Использование значений монохроматической яркости  $I(\lambda)$  освещенной территории, определенной по фотоснимку, и стандартных калориметрических функций  $X(\lambda)$ ,  $V(\lambda)$  и  $Z(\lambda)$  позволяет рассчитать коэффициенты цветности  $X$ ,  $V$ ,  $Z$  (цветовой тон насыщенности) суммарного ореола освещенной территории.

Несомненно, что установление четких зависимостей между спектральной яркостью и цветом ореола освещения на разных высотах очень перспективно для решения ряда задач оптики городской атмосферы и экологии. В настоящее время подобную информацию можно получить только методами фотометрии и фотограмметрии.

Однако, анализировать оптические характеристики светового поля возможно и по черно-белым изображениям, окрашивая их в условные псевдоцвета. Окрашивание можно производить путем деления компьютером диапазона яркости исходного изображения на заданные интервалы и кодированием их условными цветами. В результате исследователи [15] получают условное цветное изображение, на котором одним и тем же цветом обозначены участки, имеющие один и тот же интервал плотности фототона (рис. 2).

Совмещение цветокодированного изображения с цветоделительной шкалой позволяет определить и стандартизировать оптические параметры светового поля. При использовании подобных материалов снимется необходимость субъективного проведения границ участков различной оптической плотности изображения. В этом случае граница отдельных зон освещенности прослеживаются с заданной компьютеру точностью.

В зависимости от задач, поставленных экологами, могут быть использованы различные методы нелинейных преобразований изображения, методы оптической фильтрации, основанные на регулировании спектров пространственных частот изображения путем использования соответствующих светофильтров и многое другое [16].

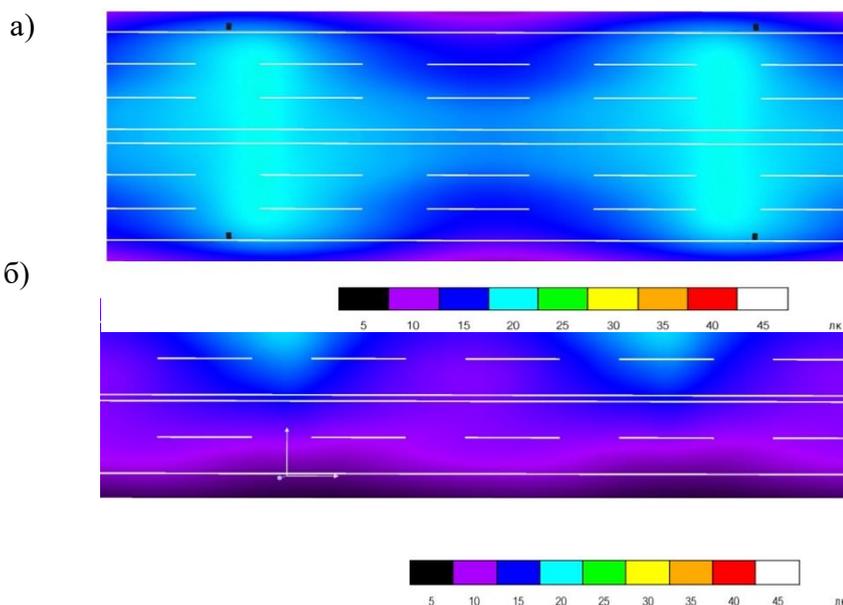


Рис. 2. Визуализация в условных цветах распределения освещенности (лк) на поверхности дорог  
 а – 6 полос, опоры 12-метровые с двухсторонним расположением;  
 б – 4 полосы, опоры 11-метровые с односторонним расположением  
 (количество полос указано в обоих направлениях).

Сам процесс распознавания, выделения, стандартизации и координирования оптически однородных зон выполняется компьютером. Подобные процедуры достаточно освещены в соответствующей литературе и не нуждаются в дополнительном описании [17].

В ряде случаев, когда границы оптических плотностей выделяются нечетко, следует применять фотометрическое профилирование изображения, позволяющее провести границы оптической плотности однозначно.

#### **Методика фотометрической регистрации параметров светового загрязнения городов.**

Для ведения мониторинга светового загрязнения атмосферы городов предлагается следующая методика работ. На космическом снимке необходимо выявить стандартный источник освещения (например, прожектор с известными оптическими характеристиками) и выполнить дешифрирование снимка на местности с использованием люксметра. В результате на снимке идентифицируются однородные по тону участки изображения с определенной оптической плотностью. Площадки для фотометрирования выбирают на одной прямой линии, проходящей через весь снимок. Направление линии должно соответствовать плоскости искусственного освещения. Среднюю оптическую плотность  $D_{kj}$  каждой площадки  $j$  тестового участка  $K$ -того класса можно определить по формуле:

$$D_j = \frac{\sum D}{n}, \quad (1)$$

где  $D_j$  – средняя величина оптической плотности изображения в пределах  $j$ -й фотометрической волны.  $D_j$  может быть определена как средняя величина экстремальных значений плотности в пределах каждой исследуемой световой волны:

$$D_j = (D_{jmax} + D_{jmin})/2. \quad (2)$$

Цифровая информация об оптических параметрах территории заносится в память компьютера в виде матрицы, элементы которой являются величинами оптической плотности отдельных участков изображения (рис. 3). Каждый такой участок цифрового изображения – это заданный цифровым кодом отчет  $D_{xy}$ , где  $x$  и  $y$  – координаты анализируемого участка (пикселя) изображения. Размер участка определяется считывающим устройством.

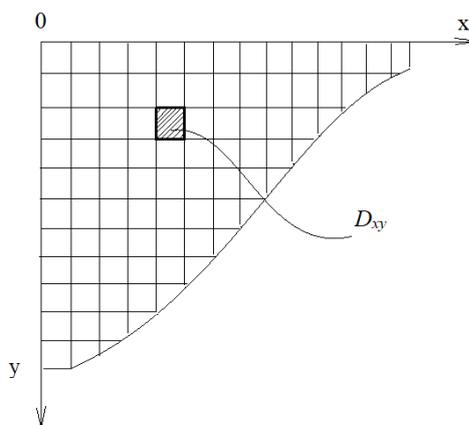


Рис. 3. Прямоугольная матрица

Считываемое изображение анализируется компьютером относительно эталонного (опорного) уровня оптической плотности  $D_0$  (например, луча стандартного прожектора), который излучает опорный сигнал  $P_0$ . Текущий  $P_{x,y}$  и опорный  $P_0$  сигналы анализируются по оптической плотности изображения в точке отсчета как логарифм их отношений:

$$D_{xy} = a \ln P_0 P_{xy} + b, \quad (3)$$

где  $a$ ,  $b$  – коэффициенты устанавливаемые при настройке системы по оптическому клину.

Число градаций плотности подбирается в зависимости от поставленной задачи и требуемой точности измерений.

Достоверность анализа может быть повышена, если сформировать банки данных с известными оптическими параметрами. С этими эталонными параметрами будет сравниваться и анализироваться изображение, имеющее неизвестные оптические характеристики.

Определенные компьютером такие характеристики каждой эталонной совокупности, как интенсивность излучения, цветовая температура, плотность потока излучения, яркость излучения, тип светораспределения и другие, заносятся в банк данных. Одновременно фиксируются такие факторы, как время дня, года, метеоусловия, технические параметры съемочной аппаратуры, масштаб съемки и др.

Для унификации оптической информации с другими видами загрязнений и автоматизированного анализа параметров светового поля авторами разработаны эталоны фотоизображения, позволяющие компьютеру определить и запомнить конкретный видеосигнал [7].

В процессе сравнения изучаемого оптического сигнала с эталонным изображением осуществляется интерполяция соответствующих оптических параметров. Затем осуществляется вывод на экран характеристик пространственного распределения светового поля в пределах зоны анализа.

При составлении эталонного изображения следует учитывать, что на оптические параметры прожекторного луча оказывает влияние рассеивание и собственное свечение атмосферы. Поэтому, фиксировать эталонные оптические характеристики луча следует в непосредственной близости от прожектора.

Таким образом, измеряя интенсивность и поляризацию рассеянного луча прожектора как эталона, исследователи получают сведения о рассеивающих свойствах самой атмосферы на различных высотах, не доступных для исследования другими методами.

### **Заключение.**

Преимуществами предложенной методики мониторинга являются достоверность и документальность получаемой информации, возможность повторных измерений любых параметров освещенности по фотоизображению в любом участке атмосферы, унификация получаемой информации и возможность ее однотипной обработки с информацией о других видах загрязнения городов, зафиксированных на фотоснимке.

При этом экологи получают уникальную наглядную и стандартизированную информацию, недоступных другим методам контроля.

### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. **Абакумова, Д. В.** Световое загрязнение и его влияние на окружающую среду / Д. В. Абакумова, Л. А. Бутенко, А. Н. Зеленин // Молодежь и наука. – 2018. – № 3. – С. 47.
2. **Гарднер, К.** Борьба с нежелательным светом: международная практика / К. Гарднер // Светотехника. – 2012. – № 1. – С. 6-18.
3. **Бармасов, А. В.** Биосфера и физические факторы. световое загрязнение окружающей среды / А. В. Бармасов, А. М. Бармасова, Т. Ю. Яковлева // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. – 2014. – № 33. – С. 84-101.
4. **Шемшуренко, Е. Г.** Свет как объект и субъект урбанистического пространства. масштабные соотношения и экосистема / Е. Г. Шемшуренко // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 2: Искусствоведение. Филологические науки. – 2016. – № 1. – С. 51-53.
5. **Гневшева, В. А.** Загрязнение окружающей среды – глобальная проблема человечества / В. А. Гневшева // Территория инноваций. – 2017. – № 4(8). – С. 124-132.
6. **Назаров, С. В.** Исследование долгосрочного изменения уровня засветки неба, как экологического фактора / С. В. Назаров, О. В. Рогова, А. В. Халаимова // Актуальные вопросы биологической физики и химии. – 2018. – Т. 3. – № 4. – С. 913-920.
7. **Попов, Б. А.** Опыт обоснования и разработки использования фотоснимка как метода определения загрязненности атмосферы дымовыми выбросами предприятий / Б. А. Попов, М. Б. Реджепов, Н. Б. Хахулина, Ю. С. Нетребина // Экология урбанизированных территорий. – 2019. – № 3. – С. 56-64.
8. **Попов, Б. А.** Современные проблемы комплексной экологической оценки территорий для целей градостроительства / Б.А. Попов, Н. Б. Хахулина // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2020. – № 3(14). – С. 61-70.
9. **Драпалюк, Н. А.** Развитие экологической безопасности в совокупности с технологиями энергосбережения и автоматизации / Н. А. Драпалюк, А. Г. Свиридова // Комплексные проблемы техносферной безопасности. Сборник статей по материалам XV международной научно-практической конференции «Задачи, технологии и решения комплексной безопасности». – Воронеж, 2020. – С. 117-122.
10. **Horton, K. G.** Bright lights in the big cities: migratory birds' exposure to artificial light / K. G. Horton, C. N. Benjamin, M. V. Doren F. A. La Sorte, A. M. Dokter, A. Farnsworth // Front Ecol Environ. – 2019. – No. 17(4). – Pp. 209 – 214. – doi: 10.1002 / fee.2029.
11. **Fleury, G.** Metabolic Implications of Exposure to Light at Night: Lessons from Animal and Human Studies / G. Fleury, A. Masis-Vargas, A. Kalsbeek // Obesity – 2020. – No. 1 – Pp.18-28. – doi: 10.1002/oby.22807.

12. **Aulsebrook, A. E.** White and Amber Light at Night Disrupt Sleep Physiology in Birds / A. E. Aulsebrook, F. Connelly, R. D. Johnsson, T. M. Jones, R. A. Mulder // *Current Biology* – 2020 – 18 – Pp. 3657-3663. – doi: 10.1016/j.cub.2020.06.085.
13. **Rich E. C.** Ecological consequences of artificial night lighting / E. C. Rich, T. Longcore. – Washington: Island Press, 2006. – 458 p.
14. **Hunt R. W. C.** The Reproduction of Colour. – 6th edition. – John Wiley & Sons, 2004. – Pp. 4-5. – 724 p.
15. **Краснящих, А. В.** Обработка оптических изображений: учебное пособие / А. В. Краснящих. – Санкт-Петербург: НИУ ИТМО, 2012. – 129 с.
16. **Трофимов, Ю.** Обзор светодиодного уличного светильника «Уран-3-115/14000/Ш» от компании Лайтсвет / Ю. Трофимов, В. Цвирко, П. Медведев // *LUMEN&EXPERTUNION*. – № 3. – 2013. – С. 121-134.
17. **Богатырева, В. В.** Оптические методы обработки информации: учебное пособие / В. В. Богатырева, А. Л. Дмитриев. – Санкт-Петербург: СПбГУИТМО, 2009. – 74 с.

*Поступила в редакцию 11 марта 2021*

## ON TECHNOLOGY OF REMOTE MONITORING OF LIGHT POLLUTION IN CITIES

**B. A. Popov, N. B. Khakhulina, N. A. Drapalyuk**

---

Popov Boris Alekseevich, Cand. Sc. (Agriculture), Associate Professor of the Department of Real Estate Cadastre, Land Management and Geodesy, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, phone: +7(915)547-27-94; e-mail: b.p.geo@yandex.ru

Khakhulina Nadezhda Borisovna, Cand. Sc. (Technical), Associate Professor of the Department of Real Estate Cadastre, Land Management and Geodesy, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, phone: +7(905)654-09-93; e-mail: hahulina@mail.ru

Drapalyuk Natalia Alexandrovna, Cand. Sc. (Technical), Associate Professor of the Department of Housing and Communal Services, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, phone: +7(910)241-01-35; e-mail: u00076@vgasu.vrn.ru

---

The paper raises the problem of the complex influence of lighting on the state of urban ecosystems. Scientific and practical urban planning tasks are identified, which requires knowledge of the optical parameters of the urban environment. Examples of the negative impact of excessive lighting and ill-conceived spectral compositions on the health of humans and other living creatures are given. An approach to the analysis of the illumination parameters of urban areas is presented. The analysis of the possibilities of photogrammetric methods for monitoring the parameters of light pollution in cities is carried out. The possibility of analyzing the optical characteristics of the light field from color and black-and-white images is described. A method of photogrammetric recording of the parameters of light pollution in cities is proposed. The article describes the improvement of the reliability of the analysis of digital information about the optical parameters of territories using standards.

**Keywords:** light pollution; urban ecosystem; urban environment; illumination; photogrammetry; remote monitoring; decoding technics.

## REFERENCES

1. **Abakumova D. V., Butenko L. A., Zelenin A. N.** *Light pollution and its impact on the environment.* Molodezhnauka. 2018. No. 3. Pp. 47. (in Russian)
2. **Gardner K.** *Struggle with undesirable light: international practice.* Svetotekhnika. 2012. No. 1. Pp. 6-18. (in Russian)
3. **Barmasov A. V., Barmasova A. M., Yakovleva T. Y.** *Biosphere and physical factors. light pollution of the environment.* Scientific notes of the Russian State Hydrometeorological University. 2014. No. 33. Pp. 84-101. (in Russian)
4. **Shemshurenko E. G.** *Light as an object and subject of urban space. scale relations and ecosystem.* Bulletin of the St. Petersburg State University of Technology and Design. Series 2 Art History. Philological sciences. 2016. No. 1. Pp. 51-53. (in Russian)
5. **Gnevshcheva V. A.** *Environmental pollution - a global problem of humanity.* The territory of innovation. 2017. No. 4(8). Pp. 124-132. (in Russian)
6. **Nazarov S. V., Rogova O. V., Khalaimova A. V.** *Investigation of long-term changes in the level of sky illumination as an environmental factor.* Current issues of biological physics and chemistry. 2018. Vol. 3. No. 4. Pp. 913-920. (in Russian)
7. **Popov B. A., Rejepov M. B., Khakhulina N. B., Ntrebina Yu. S.** *The experience of substantiating and developing the use of a photograph as a method for determining atmospheric pollution from smoke emissions of enterprise.* Ecology of Urban Territories. No. 3. Voronezh, Voronezh State University. 2019. Pp 56-64. (in Russian)
8. **Popov B. A., Khakhulina N. B.** *Modern problems of complex ecological assessment of territories for the purposes of urban planning.* Housing and communal infrastructure. 2020. No. 3(14). Pp. 61-70. (in Russian)
9. **Drapalyuk N. A., Sviridova A. G.** *Development of ecological safety in combination with energy saving and automation technologies.* Voronezh, Complex problems of technosphere safety. Tasks, technologies and solutions for integrated security Collection of articles based on the materials of the XV International Scientific and Practical Conference. 2020. Pp. 117-122. (in Russian)
10. **Horton K. G., Benjamin C. N., Doren M. V., La Sorte F. A., Dokter A. M., Farnsworth A.** *Bright lights in the big cities: migratory birds' exposure to artificial light.* Front Ecol Environ. 2019. No. 17(4). Pp. 209-214. – doi: 10.1002 / fee.2029.
11. **Fleury G., Masís-Vargas A., Kalsbeek A.** *Metabolic Implications of Exposure to Light at Night: Lessons from Animal and Human Studies.* Obesity. 2020. T. 28. No. 1. Pp.18-28. doi:10.1002/oby.22807
12. **Aulsebrook, A. E., Connelly F., Johnsson R. D., Jones T. M., Mulder R. A.** *White and Amber Light at Night Disrupt Sleep Physiology in Birds.* Current Biology. 2020. No. 18. Pp. 3657-3663. – doi:10.1016/j.cub.2020.06.085.
13. **Rich E. C., Longcore T.** *Ecological consequences of artificial night lighting.* Washington, Island Press. 2006. 458 p.
14. **Hunt R. W. C.** *The Reproduction of Colour.* 6th edition. John Wiley & Sons. 2004. Pp. 4-5. 724 p.
15. **Krasnyashchikh A.V.** *Processing of optical images.* Training manual. St. Petersburg: NRU ITMO. 2012. 129 p.(in Russian)
16. **Trofimov Yu. Tsvirko V., Medvedev P.** *Overview of the Uranus LED street lamp-3-115/14000/sh" from the Lightsvet company.* LUMEN&EXPERTUNION. 2013. No. 3. Pp. 121-134 (in Russian)

17. **Bogatyreva V. V., Dmitriev A. L.** *Optical methods of information processing*. Training manual. St. Petersburg, SPbGUITMO. 2009. 74 p. (in Russian)

*Received 11 March 2021*

**Для цитирования:**

**Попов, Б. А.** О методике дистанционного мониторинга светового загрязнения городов / Б. А. Попов, Н. Б. Хахулина, Н. А. Драпалюк // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2021. – № 2(17). – С. 66-75.

**FOR CITATION:**

**Popov B. A., Khakhulina N. B., Drapalyuk N. A.** *On technology of remote monitoring of light pollution in cities*. Housing and utilities infrastructure. 2021. No. 2(17). Pp. 66-75. (in Russian)

УДК 628.543

## ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА «АРКОНЛОС» ДЛЯ ОЧИСТКИ ФИЛЬТРАТА ПОЛИГОНОВ ТБО

Р. А. Агакишиев, И. В. Журавлева, Н. Н. Злобина

Агакишиев Руслан Адильевич, научный руководитель НПО ЭКОТЕХНОГРУПП, Москва, Российская Федерация, тел. +7(985)766-29-43; e-mail: ecotechnogrupp@gmail.com

Журавлева Ирина Владимировна, канд. техн. наук, доцент кафедры гидравлики, водоснабжения и водоотведения, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Российская Федерация, тел. +7(910)744-41-23; e-mail: u00367@vgasu.vrn.ru

Злобина Нина Николаевна, старший преподаватель кафедры гидравлики, водоснабжения и водоотведения, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Российская Федерация, тел. +7(950)762-11-46; e-mail: natasha92.27@mail.ru

Фильтрат полигонов твёрдых бытовых отходов токсичен, может иметь в 200 раз большую химическую потребность в кислороде, чем канализационные стоки. Ухудшение экологического состояния окружающей среды из-за свалок негативно влияет на здоровье людей, приводит к опасным заболеваниям и даже летальным исходам. Перед сбросом в природную среду фильтрат твёрдых бытовых отходов требует очистки от загрязняющих веществ с доведением их до ПДК сброса в водоёмы. Для обоснования выбора эффективного метода очистки загрязнений для проектируемого в г. Боброве Воронежской области полигона ТБО, проанализирован состав сточных вод, известные методы очистки. Проведено сравнение качества очистки высокомутных сточных вод на различных установках и предложена технологическая схема комплекса очистки фильтрата полигона ТБО, разработанная ОАО «АрконЛОС», показавшая высокую эффективность очистки и возможность использования очищенных вод для полива карт ТБО, исключая сброс неочищенных стоков в водоёмы. Безреагентный комплекс даёт безотходную очистку фильтрата ТБО, уменьшает концентрации загрязнений в теле полигона и геосфере, обеспечивает обеззараживание и удаление неактивного шлама, который можно применять в сельском хозяйстве и строительстве. Комплекс полностью автоматизирован, качество очистки соответствует нормам всемирной организации здравоохранения (ВОЗ). Блочно-модульный комплекс расположен в стандартном контейнере, имеет мобильное исполнение. Внутри контейнера поддерживается благоприятный микроклимат для технологического процесса и обслуживающего персонала. Приведены технико-экономические расчеты, позволяющие утверждать об эффективности и надёжности принятого решения и рекомендовать применение комплекса для подобных полигонов ТБО Воронежской и других областей.

**Ключевые слова:** полигон ТБО; дренаж; фильтрат; очистка; ультрафильтрация; седимент; полиэлектродный электролизатор; пермиат; гидросфера.

Бытовые отходы и связанная с ними охрана внешней среды от загрязнений являются огромной международной проблемой современности [1]. Каждую секунду на нашей планете появляется 4 кг мусора, становясь бытовыми отходами, поступающими на площадки твёрдых бытовых отходов (ТБО). Происходит глубинное заражение грунта, делающее его непригодным для использования в течение нескольких сотен лет после закрытия свалки. Разлагаясь, мусор отравляет почву, воду и воздух.

Площадки ТБО, согласно СанПиН 2.1.7.1038-01 «Гигиенические требования к устройству и содержанию полигонов для твердых бытовых отходов» и Федерального закона от 30 марта 1999 г. №52-ФЗ «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения», должны гарантировать санитарно-эпидемиологическую безопасность населения.

Проблема очистки фильтрата ТБО в настоящий момент стоит весьма остро, так как фильтрат

крайне агрессивен к окружающей природной среде и человеку из-за наличия в нём большого количества болезнетворных бактерий и вирусов, ионов тяжёлых металлов, продуктов анаэробного разложения белков, жиров и углеводов – разного рода кислот, которые чрезвычайно загрязняют почву. Традиционные сооружения биологической очистки не справляются с очисткой этих стоков [2].

Для выбора эффективного метода очистки этих загрязнений были решены задачи:

- ✓ анализ образующихся сточных воды и известных методов очистки;
- ✓ сравнение качества очистки высокомутных сточных вод на различных установках;
- ✓ разработка технологической схемы для проектируемого полигона ТБО в г. Боброве Воронежской области.

Качественный состав исходного фильтрата наглядно иллюстрируют результаты анализа фильтрата с полигона ТБО «Воловичи», проведенные лабораторией Экологического мониторинга регионов АЭС ИПЭЭ РАН г. Москва 24 июля 2018 г. (табл. 1).

Таблица 1

Состав исходного и очищенного фильтрата с полигона ТБО «Воловичи» по лабораторным исследованиям Экологического мониторинга регионов АЭС ИПЭЭ РАН г. Москва 2018 г.

Показатель загрязнения	Концентрация, г/м <sup>3</sup>			Показатель загрязнения	Концентрация, г/м <sup>3</sup>		
	в исходном фильтрате	после очистки на комплексе «АрконЛОС»	норматив для сброса в РХ водоём		в исходном фильтрате	после очистки на комплексе «АрконЛОС»	норматив для сброса в РХ водоём
ХПК, мгО <sub>2</sub>	900...6000	30,0	30,0	Нитраты	4,26	1,07	40,0
БПК <sub>5</sub> , мгО <sub>2</sub>	600...4000	2,0	2,0	Нитриты	Не обнаружено	не обнаружено	0,08
Аммонийный азот	27...2000	0,4	0,4	Фториды	Не обнаружено	не обнаружено	1...2
Взвешенные вещества	3000	1	4,3	Цианид	Не обнаружено	не обнаружено	отсутствие
Кадмий	0,1075	не обнаружено	0,05	Суммарная органика	987,48	0,0018	отсутствие
Барий	0,958	0,077	0,74	Алюминий	11,03	0,0037	0,04
Медь	37,48	0,022	0,001	Магний	18,06	3,01	40
Мышьяк	0,000026	не обнаружено	0,05	Фосфаты	77,85	3,96	0,2 по фосфору
Никель	0,16		отсутствие	Кальций	223,92	37,32	180
Ртуть	0,000175	не обнаружено	отсутствие	Калий	2,14	1,32	40
Свинец	3,08	0,014	0,1	Сульфаты	290	31,1	100
Сурьма	0,275	не обнаружено	отсутствие	Хлориды	3416	12,0	300
Олово	4,115	не обнаружено	отсутствие	Натрий	9,28	9,79	120
Хром	18,45	0,001	0,07	Цинк	42,57	1,91	0,01
Железо	92,04	1,72	0,01				

Не такой полный список ингредиентов представлен в работе [3] – табл. 2, однако он позволяет оценить статистику разброса параметров.

Таблица 2

Данные по составу дренажных вод полигонов [3]

Показатели	Ед. измерения	Полигон		
		Хметьевский	Дмитровский	Марьинский
рН	ед. рН	7,68	7,54	7,47
ХПК	мгО <sub>2</sub> /л	920	6855	542
Хлориды	мг/л	1040	4800	1496
Электропроводность	мС.см <sup>-1</sup>	8	21	12

Чтобы минимизировать влияние полигона на гидросферу и атмосферу, он оборудуется инженерными коммуникациями (рис. 1) для сбора газов и фильтрата с дальнейшей их обработкой перед сбросом в геосферу [СП 3201325800.2017 Полигоны твердых бытовых отходов. Проектирование, эксплуатация и рекультивация].

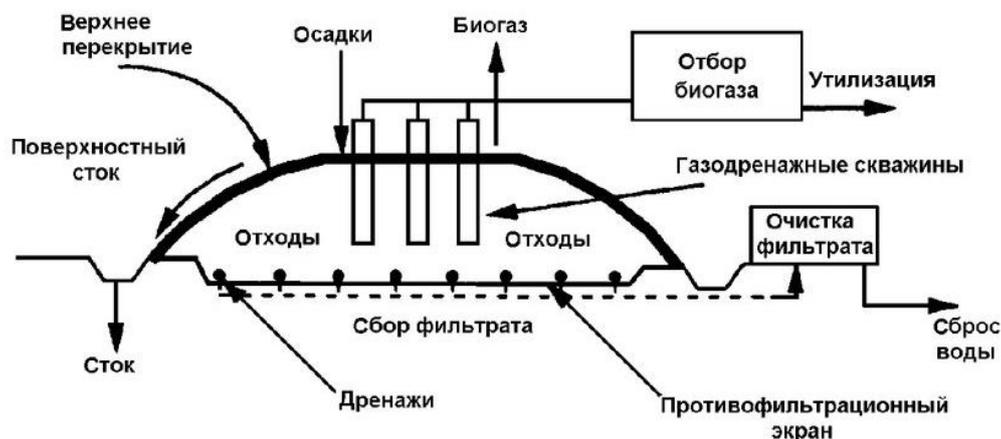


Рис. 1. Принципиальная схема инженерных коммуникаций полигона ТБО [2]

Известны исследования по очистке дренажных вод ТБО различными методами: биологическим [4, 5], сорбционным, электрохимическим, мембранным и др. [6, 7, 8] с дезинфекцией ультрафиолетовым стерилизатором [9].

Авторы работ [10, 11] отметили ряд недостатков технологий, применяемых для очистки фильтрата ТБО:

- ✓ влияние тяжёлых металлов на анаэробные процессы: присутствие солей меди, хрома и других тяжёлых металлов подавляет работу анаэробных бактерий;
- ✓ применение химических методов подразумевает большой расход реагентов, часть из которых являются опасными для жизни, в связи с чем повышаются затраты на обеспечение защиты труда;
- ✓ технологии обратного осмоса в условиях России приводят к высоким капитальным затратам.

Авторами данной статьи проведена систематизация методов и видов очистки на основании анализа личных наблюдений и опыта других авторов.

В табл. 3 приведены преимущества и недостатки основных методов очистки и утилизации свалочного фильтрата полигонов. У каждого из методов утилизации есть свои плюсы и минусы. Контроль процесса очистки фильтрата полигонов ТБО оценивают по количественным и качественным загрязнителям фильтрата, изменению газовой смеси, химическому и бактериологическим загрязнениям очищенной воды (пермиата).

Таблица 3

Анализ методов и видов очистки фильтрата полигонов ТБО

Наименование метода	Вид	Преимущества	Недостатки
Химико-физический	Обратный осмос	Высокий процент очистки фильтрата	Большой расход фильтрационных вод; высокая опасность и высокая стоимость реагентов
Электрохимический	Электроокоагуляция		Добавление химических реагентов, низкая энергоэффективность, высокие операционные затраты, дороговизна
Химический	Нейтрализация и окислительно-восстановительные методы	Малая токсичность отходов	Высокая стоимость, добавление химических реагентов, высокие операционные затраты
Биологический	Анаэробный	Экологическая безопасность, использование газов	Необходимость организации полигонов, узкие рамки применения относительно состава фильтрата; тяжёлые металлы тормозят процесс
	Аэробный	Экологическая безопасность	Длительность процесса, требования к природным условиям

Фирмой «АрконЛОС» разработана безреагентная технология очистки, утилизации и обезвреживания стойких химических и биологических загрязнителей. Предложенная технологическая схема очистки фильтрата, собираемого дренажной системой полигона и направляемого по трубопроводам в накопительную ёмкость приведена на рис. 2.

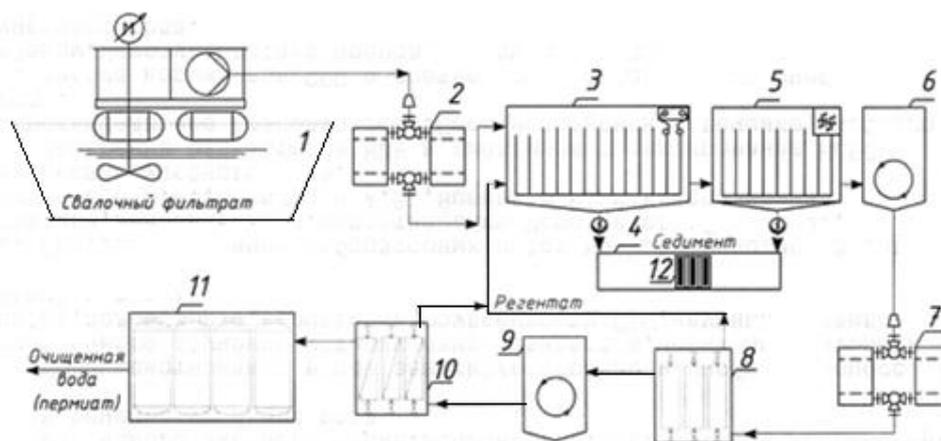


Рис. 2. Технологическая схема очистного комплекса:

- 1 – усреднитель-накопитель, 2 – блок предварительной механической очистки стоков;  
 3 – полиэлектродный реактор, 4 – ёмкость сбора осадка; 5 – полиэлектродный реактор с КВЧ-генерацией; 6, 9 – ёмкость для усреднения; 7 – блок последующей механической очистки;  
 8 – модуль макрокапиллярной ультрафильтрации; 10 – модуль суперфильтрации;  
 11 – блок композитно-сорбционный; 12 – компрессор сушки осадка инфракрасный

Основное оборудование представлено следующими элементами: усреднитель (рис. 3, а), насосы подачи фильтрата в механический фильтр, полиэлектродный электрореактор с двумя зонами очистки. Комплекс «АрконЛОС» автоматизирован (рис. 3, б) и не требует постоянного присутствия персонала, службе эксплуатации рекомендуется проводить периодический осмотр и контроль оборудования.

Первая зона – зона коагуляции на расходуемых алюминиевых электродах. В результате гальванокоагуляции в этой зоне удаляются нефтепродукты, АПАВ, органические макромолекулы, ионы тяжёлых металлов, находящиеся в фильтрате, которые с помощью кислорода всплывают в виде шлама (седимента) на поверхность и затем сгребаются в ёмкость для шлама. Из фильтрата в первой ступени реактора (рис. 3, в) удаляются крупные взвеси, СПАВ, нефтепродукты и снижаются ХПК и БПК до 50 %.

Во второй зоне полиэлектродного реактора (рис. 3, г) под действием электрического тока с участием нерасходуемых импактных электродов, на которых вырабатывается активная хлорноватистая кислота, надуксусная кислота, гидроксильные радикалы, гидроксоний, пероксиды водорода и персульфаты, проходят физико-химические процессы на молекулярном уровне.

Далее вода подаётся в реактор, где происходит перевод большей части растворённых крупных поллютантов в коллоидную форму, а также происходит нейтрализация воды с выравниванием рН среды до 7,2...7,5. Всплывшие коллоидные частицы удаляются в шламосборник. При этом в очищаемой воде снижается содержание взвешенных веществ, ХПК и БПК.

Для удаления остатков нейтрализованных загрязнений крупной фракции размером более 25 мкм вода поступает в щелевой фильтр и собирается в ёмкость, перекачивается насосом в установку макрокапиллярной ультрафильтрации для улавливания всех взвешенных веществ, мутности, частично цветности, запаха, ХПК. Установка состоит из нескольких блоков ультрафильтрационных мембран.

Доочистка воды осуществляется в блоке композитной очистки, где полностью удаляются железо, соли тяжелых металлов, нитраты и нитриты. На композитных и сорбционных фильтрах происходит финишное удаление однородных частиц и молекул, возможных остатков гуминовых и фульвовых кислот и доведение воды до нормативов всемирной организации здравоохранения (ВОЗ).

Для удаления растворённых солей в ионной форме, токсинов, в том числе тетрадотоксинов, вода поступает в блок суперфильтрации, после которого в воде остаётся большое количество активных форм кислорода. Блок суперфильтрации оснащён встроенными регенераторами загрузки и системой автоматического переключения потока для профилактических работ. Вода очищается до норм сброса в водоём рыбохозяйственного назначения, а затем собирается в ёмкость очищенной воды и повторно используется для орошения карт ТБО. После очистки фильтрата на полиэлектродном реакторе в первом и втором отделениях, согласно заключению лаборатории АЭС ИПЭЭ РАН, концентрации наиболее токсичных ингредиентов снизились в 4...6 раз, а суммарная органика – в 5,6 раза (табл. 1).

Комплекс поставляется в обогреваемом контейнере (рис. 3, е) и для производительности 72 м<sup>3</sup>/сут занимает 31,25 м<sup>2</sup> с размерами L×B×h= 12,5×2,5×2,5 м, это в 3...4 раза меньше площади сооружений химического, биологического и обратноосмотического типа.

В результате полной очистки фильтрата ТБО на комплексе «АрконЛОС», концентрация токсичных компонентов снижается по сравнению с исходными примерно на два порядка, а суммарное снижение концентрации органических веществ составляет 99,99 %, что отмечено в заключение лаборатории Экологического мониторинга регионов АЭС ИПЭЭ РАН (см. табл. 1). Степень очистки по жирам составляет 98 %, гельминты, яйца глист, цисты, биологические соединения, макросоли – до 95 %.

Образующейся в полиэлектродном реакторе в первом и во втором отделениях шлам (седимент), сгребается с поверхности воды в шламосборники и обезвоживается, превращается в неактивный кристаллизованный отход, не обладающий классом опасности.

Концентрация химических элементов в шламе после комплекса очистки водных сред «АрконЛОС», согласно анализу производственной лаборатории Экологического мониторинга регионов АЭС ИПЭЭ РАН приведена в табл. 4.

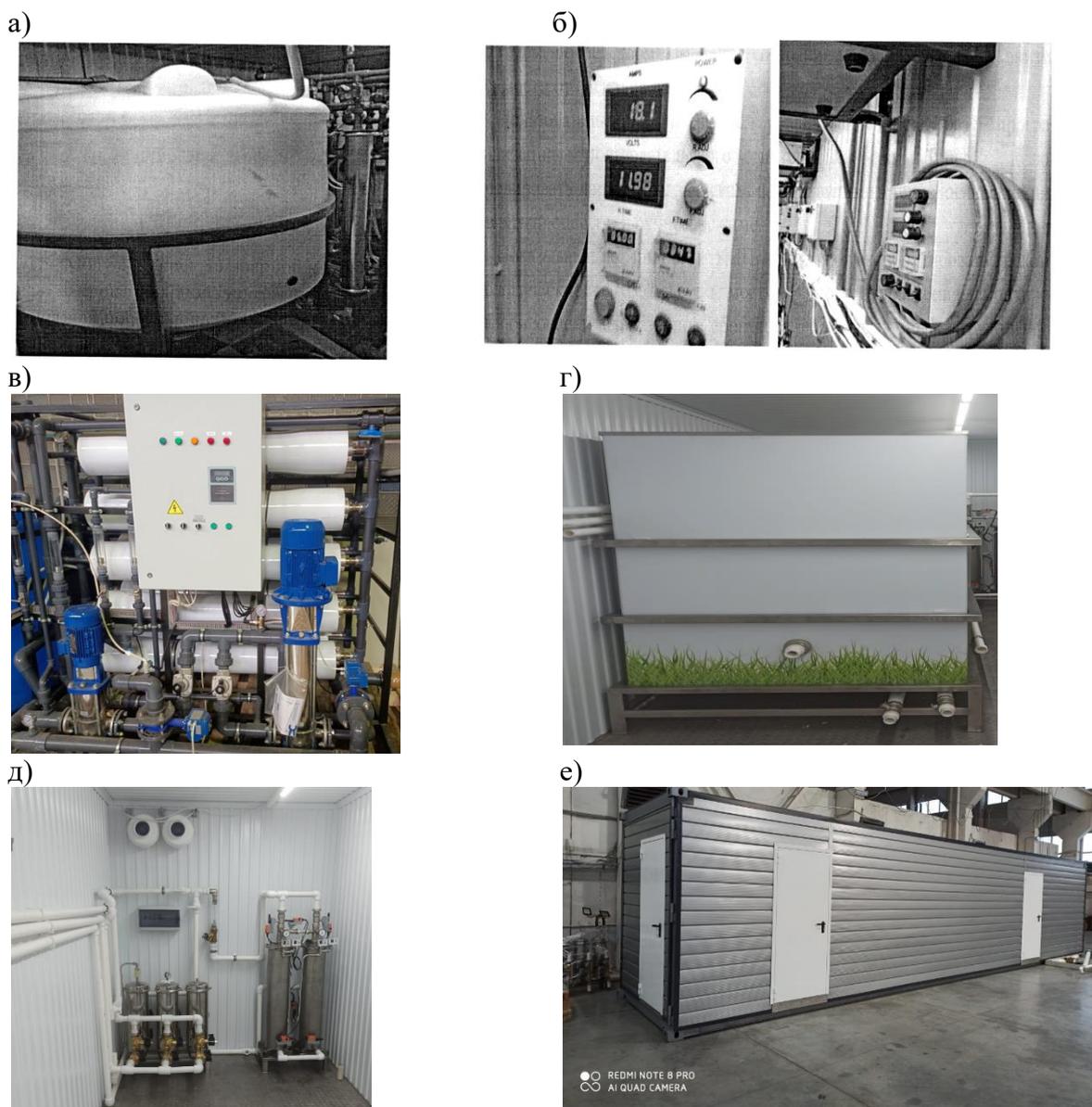


Рис. 3. Внешний вид оборудования комплекса «АрконЛОС»:  
 а – усреднитель; б – блок автоматики; в – блок тонкой очистки; г – полиэлектродный реактор;  
 д – блок предварительной очистки; е – контейнер очистного комплекса с оборудованием

Таблица 4

Концентрация химических элементов в шламе после комплекса очистки «АрконЛОС»

Показатель	Концентрация, г/м <sup>3</sup>	Показатель	Концентрация, г/м <sup>3</sup>	Показатель	Концентрация, г/м <sup>3</sup>
Mg	21,760	Mn	2,040	K	156,205
Al	13,304	Fe	38,229	Ca	100,845
Si	400,617	Ni	1,060	Ti	1,76
P	4,170	Cu	8,480	Cr	0,680
S	2,012	Zn	1,520	Sr	11,840
Cl	10,880	As	0,004	Ba	625,144
Hg	0,015	Ph	1,760		

Шлам является полностью инертным по отношению к окружающей среде и может быть использован в народном хозяйстве, дорожном строительстве и прочих строительных

работах. Его утилизация и хранение не несут никакой экологической опасности окружающей среде [5]. Седимент занимает 0,01% площади стандартных очистных сооружений.

Таким образом, рассматриваемый комплекс для очистки стоков имеет ряд преимуществ по сравнению с традиционными химическими, биологическими и обратно-осмотическими очистными сооружениями:

- ✓ полная практически безотходная очистка фильтрата ТБО;
- ✓ существенное уменьшение количества и концентрации в теле полигона;
- ✓ отсутствие концентрата (по сравнению с обратно-осмотическими установками);
- ✓ возможность увеличения мощности за счёт подключения модулей;
- ✓ площадь очистных сооружений «АрконЛЮС» в 3...4 раза меньше, чем у традиционных комплексов очистных сооружений химического, биологического и обратно-осмотического типа;
- ✓ комплекс очистных сооружений полностью автоматизирован и не требует постоянного обслуживающего персонала;
- ✓ комплекс безреагентный, т.е. оборудование вырабатывает из фильтрата необходимые вещества для его очистки и обеззараживания, промывка производится пермиатом;
- ✓ образующийся шлам неактивен и обеззаражен, пригоден для применения в народном и сельском хозяйстве, строительстве и т.д.;
- ✓ комплекс «АрконЛЮС» позволяет, в отличие от других типов очистных сооружений, рассчитать стоимость ежегодного обслуживания;
- ✓ обеспечивает соответствие нормам ВОЗ по качеству получаемой воды.
- ✓ очищенный фильтрат с полигона ТБО используется в цикле очистки в качестве технической воды для полива карт ТБО. Исключается негативное воздействие на геосферу.

Выполнено сравнение комплекса «АрконЛЮС» с установками обратного осмоса, биологических и химических очистных сооружений. За базовую характеристику взята производительность 72 м<sup>3</sup>/сут промышленных сточных вод с содержанием нефтепродуктов и растворённых солей хлоридов, сульфатов, фосфатов, нитратов, аммония, фторидов. Результаты расчетов приведены в табл. 5.

Таблица 5

Затраты для различных установок очистки, тыс. руб./год

Параметры	Наименование установки			
	Обратный осмос	Биологические очистные	Химические очистные	АрконЛЮС
Электрэнергия	6215,220	15417,600	8190,600	3854,400
Предфильтры (картриджи)	997,920	829,920	-	-
Расходные материалы (реагентное хозяйство)	4838,400 (антискалант) 5256,000 – химмойка 420,000 – регенерация Итого: 10514,400	-	16997,400	Перекись водорода – для регенерации 250,000
Мембраны	3220,000	-	-	2688
Загрузка сорбционная	5100,000	3890,000	14300,000	3480
Утилизация отходов	2452,800	4150,000	6820,000	нет
Техническое обслуживание	≈3000,000	≈4500,000	≈5000,000	2600,000
Заработная плата персонала	1200,000	1200,000	16200,000	1200,000
Расходные электроды	-	-	-	1125,000
Непредвиденные расходы	4220,000	5000,000	5000,000	2688,000
Итого:	36920,340	34987,520	72508,000	17885,400
Соответствие нормативам очистки	100 %	70 %	93 %	100 %
Стоимость оборудования (в ценах на II квартала 2021 г.)	129 000,000	80 000,000	157 000,000	98 000,000

### **Заключение.**

Анализ показателей качества известных методов очистки позволил установить двух лидеров по эффективности очистки - обратный осмос и комплекс «АрконЛОС». Расчет стоимостных характеристик установок показал экономическую целесообразность применения комплекса очистных сооружений «АрконЛОС».

Приведенные результаты лабораторных анализов показывают, что после очистки фильтрата на полиэлектродном реакторе в первом и втором отделениях, согласно заключению лаборатории АЭС ИПЭЭ РАН, концентрации наиболее токсичных ингредиентов снижаются в 4...6 раз, а суммарная органика – в 5,6 раза.

Технологические особенности рассматриваемого комплекса обуславливают ряд преимуществ перед известными методами очистки: практически безотходная очистка фильтрата ТБО; уменьшение площади очистных сооружений в 3...4 раза; возможность использования шлама для применения в народном и сельском хозяйстве. Наряду с экономическими показателями указанные преимущества комплекса очистки водных сред «АрконЛОС» позволяют рекомендовать его для очистки фильтрата полигонов ТБО как в Воронежской области, так и в других городах центрально-чернозёмного региона (ЦЧР).

### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. **Александровская, З. И.** Организация службы мусороудаления и уборки городов / З. И. Александровская, А. М. Кузьменкова, Я. Н. Крхамбаров. – М.: Стройиздат, 1976. – 127с.
2. **Есякова, О. В.** Обращение с отходами: учебное пособие / О. В. Есякова, В. А. Иванов. – Красноярск: Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева, 2018. – 90 с.
3. **Обращение с отходами:** учебное пособие / А. А. Челноков, Л. Ф. Ющенко, И. Н. Жмыхов, К. К. Юрацик. – Минск: Вышэйшая школа, 2018. – 464 с.
4. **Сидоренко, О. Д.** Биологические технологии утилизации отходов животноводства: учеб. пособие / О. Д. Сидоренко, Е. В. Черданцев. – М.: Изд-во МСХА, 2001. – 74 с.
5. **Ключенович, В. И.** Инновационные подходы в области переработки органических отходов / В. И. Ключенович, В. В. Ходин // Экология на предприятии. 2014. – № 11. – С. 68-71.
6. **Поваров, А. А.** Способ очистки дренажных вод полигонов твердых бытовых отходов (ТБО) пат. №2589139 (Российская Федерация), С2 МПК С02F 9/08(2006.01), С02F 1/42(2006.01), С02F 1/44(2006.01), С02F 1/461(2006.01), С02F 1/52(2006.01), В01D 36/00(2006.01), В01D 61/02(2006.01), В01D 61/14- Владелец патента: Общество с ограниченной ответственностью «Баромембранная технология» (ООО «БМТ») – 2014128230/05, заявл. 09.07.2014; – опубл. 10.07.2016., Бюл. № 19. – 16 с.
7. **Поваров, А. А.** Очистка фильтрационных вод полигонов твердых бытовых отходов / А. А. Поваров, Н. В. Селиванова, Т. А. Трифонова, В. Ф. Павлова, О. Г. Селиванов, М. Е. Ильина, Л. А. Ширкин, В. Б. Торшин // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – Т. 16. – №1-3. – 2014. – С. 661-664.
8. **Первов, А. Г.** История и перспективы применения мембранных технологий в области водоснабжения // Водоснабжение и санитарная техника. – 2009. – № 7. – С. 4-10.
9. **Поваров, А. А.** Технология очистки дренажных полигонных вод / А. А. Поваров, В. Ф. Павлова, Н. А. Шиненкова, О. Ю. Логунов //Твердые бытовые отходы. – 2009. – № 4. – С. 26-27.
10. **Милютин, Н. О.** Анализ методов очистки фильтрата полигонов твердых коммунальных отходов / Н. О. Милютин, Н. А. Политаева, П. С. Зеленковский, И. И. Подлипский, Е. С. Великосельская // Вестник Евразийской науки. – 2020. – Т. 12. – № 3. – С. 21.

11. **Милютина, Н. О.** Изучение свойств литификата, полученного из фильтрата полигона ТКО / Н. О. Милютина, Н. А. Аверьянова, Н. А. Политаева // Экологический мониторинг опасных промышленных объектов: современные достижения, перспективы и обеспечение экологической безопасности населения: сборник научных трудов Часть 2. Саратов, 2019. – С. 188-191.

*Поступила в редакцию 6 апреля 2021*

## **AN EFFECTIVE WAY TO ELIMINATE THE ENVIRONMENTAL IMPACT THE LEACHATE OF SOLID WASTE LANDFILLS ON THE GEOSPHERE**

**R. A. Agakishiev, I. V. Zhuravleva, N. N. Zlobina**

---

Agakishiev Ruslan Adilievich, Scientific Director of NPO ECOTECHNOGRUPP, Moscow, Russia, phone: +7(985)766-29-43; e-mail: ecotechnogrupp@gmail.com

Zhuravleva Irina Vladimirovna, Cand. Sc. (Technical), Associate Professor at the Department of Hydraulics, Water Supply and Wastewater Disposal, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, phone: +7(910)744-41-23; e-mail: u00367@vgasu.vrn.ru

Zlobina Nina Nikolaevna, Senior Lecturer at the Department of Hydraulics, Water Supply and Wastewater Disposal, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, phone: +7(950)762-11-46; e-mail: natasha92.27@mail.ru

---

The filtrate of solid waste landfills is toxic, it can have 200 times more chemical oxygen demand than sewage. Deterioration of the ecological state of the environment due to landfills negatively affects human health, leads to dangerous diseases and even death. Before being discharged into the natural environment, the filtrate of solid household waste requires cleaning from pollutants with bringing them to the maximum permissible concentration for discharge into water bodies. In order to select an effective method of cleaning contaminants for the landfill projected in the city of Bobrov, Voronezh Region, the composition of waste water, well-known methods of treatment were analyzed. We compared the quality of high-turbidity wastewater treatment at various plants and proposed a technological scheme for a complex for the treatment of the leachate of a solid waste landfill, developed by OAO "ArkonLOS", which showed high purification efficiency and the use of treated water for irrigation of solid waste maps, which excluded the discharge of untreated wastewater into water bodies. The reagent-free complex provides waste-free cleaning of the solid waste filtrate, reduces the concentration of contaminants in the body of the landfill and the geosphere, provides disinfection and removal of inactive sludge, which can be successfully used in national and agriculture, construction. The complex is fully automated, the quality of cleaning complies with the standards of the World Health Organization (WHO). The block-modular complex is located in a standard container and has a mobile design. A favorable microclimate for the technological process and service personnel is maintained inside the container. All of the above facts allow us to assert the effectiveness and reliability of the decision and recommend the use of the complex for such landfills of solid waste in the Voronezh and other regions.

**Keywords:** solid waste landfill; drainage; filtrate; purification; ultrafiltration; sediment; polyelectrode reactor; permeate; hydrosphere.

### REFERENCES

1. **Alexandrovskaya Z. I., Kuzmenkova A. M., Krkhambarov Ya. N.** *Organization of garbage disposal and city cleaning services*. Moscow, Stroyizdat. 1976. 127 p. (in Russian)
2. **Esyakova O. V., Ivanov V. A.** *Waste management*. Siberian State University of Science and Technology named after Academician M. F. Reshetnev. Krasnoyarsk. 2018. 90 p. (in Russian)
3. **Chelnokov A. A.** *Waste management: a tutorial*. Minsk, Higher school. 2018. 464 p. (in Belarus)

4. **Sidorenko O. D., Cherdantsev E. V.** *Biological technologies for the utilization of animal waste*. Moscow, Publishing house of the Moscow Agricultural Academy. 2001. 74 p. (in Russian)
5. **Klyuchenovich V. I., Hodin V. V.** *Innovative approaches in the field of organic waste processing*. Ecology at the enterprise. 2014. No. 11. Pp. 68-71. (in Russian)
6. **Povarov A. A.** *Method of purification of drainage waters of landfills of solid domestic waste (MSW)* Pat. No. 2589139 (Russian Federation), C2 IPC C02F 9/08 (2006.01), C02F 1/42 (2006.01), C02F 1/44 (2006.01), C02F 1/461 (2006.01), C02F 1/52 (2006.01), B01D 36/00 (2006.01), B01D 61/02 (2006.01), B01D 61/14 – Patent holder: Limited Liability Company Baromembrane Technology (BMT LLC) – 2014128230/05, App. 07.09.2014; - publ. 10.07.2016., Bul. No. 19. – 16 p. (in Russian)
7. **Povarov A. A., Selivanova N. V., Trifonova T. A., Pavlova V. F., Selivanov O. G., Ilyina M. E., Shirkin L. A., Torshin V. B.** *Purification of leakage waters from solid household waste polygon*. Proceedings of the Samar Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, volume 16, No. 1 – 3. 2014. Pp. 661-664. (in Russian).
8. **Pervov A. G.** *History and prospects for the use of membrane technologies in the field of water supply*. Water supply and sanitary engineering. 2009. No. 7. Pp. 4-10. (in Russian)
9. **Povarov A. A., Pavlova V. F., Shinenkova N. A., Logunov O. Yu.** *Technology of purification of drainage landfill waters*. Solid household waste. 2009. No. 4. Pp. 26-27. (in Russian)
10. **Milyutina N. O., Politaeva N. A., Zelenkovsky P. S., Podlipsky I. I., Velikoselskaya E. S.** *Review of purification methods of municipal solid waste landfills leachate*. Bulletin of Eurasian Science. 2020. Volume 12. No. 3. Pp. 21. (in Russian)
11. **Milyutina N. O., Averyanova N. A., Politaeva N. A.** *Study of the properties of the lithicate obtained from the filtrate of the TKO landfill*. Ecological monitoring of hazardous industrial facilities: modern achievements, prospects and ensuring the ecological safety of the population: collection of articles. scientific. tr. Part 2. Saratov. 2019. Pp. 188-191. (in Russian)

Received 6 April 2021

**ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:**

**Агакишиев, Р. А.** Оценка эффективности технологического комплекса «Аркилос» для очистки фильтрата полигонов ТБО / Р. А. Агакишиев, И. В. Журавлева, Н. Н. Злобина // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2021. – № 2(17). – С. 76-85.

**FOR CITATION:**

**Agakishiev R. A., Zhuravleva I. V., Zlobina N. N.** *An effective way to eliminate the environmental impact the leachate of solid waste landfills on the geosphere*. Housing and utilities infrastructure. 2021. No. 2(17). Pp. 76-85. (in Russian)

**ДОРОЖНО-ТРАНСПОРТНОЕ ХОЗЯЙСТВО  
И СТРОИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА**  
**ROAD TRANSPORT, AGRICULTURE  
AND CONSTRUCTION MACHINES**

УДК 504.054:53.087

**УЧЕТ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ АВТОТРАНСПОРТА  
ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОЕКТА «УМНЫЙ ГОРОД»**

**О. А. Сотникова, Е. А. Рязанцева, Р. А. Шепс**

Сотникова Ольга Анатольевна, д-р техн. наук, профессор, заведующая кафедрой проектирования зданий и сооружений им. Н.В. Троицкого, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7(473)2-774-339; email: hundred@vgasu.vrn.ru

Рязанцева Елена Александровна, аспирант кафедры проектирования зданий и сооружений им. Н.В. Троицкого, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7(951)850-15-10; email: eryazanceva@vgasu.vrn.ru

Шепс Роман Александрович, канд. техн. наук, доцент кафедры жилищно-коммунального хозяйства, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7(960)131-66-01; email: romansheps@yandex.ru

Рассматривается проблема устойчивого развития территорий при реализации проекта «Умный город». Одним из основных компонентов развития городов является экологическая составляющая. В работе авторы выделяют основные параметры оценки экологической ситуации в урбанизированной среде с целью принятия оптимальных управленческих решений. Рассматриваются зависимости, позволяющие обосновать информационную модель мониторинга состояния окружающей среды. Выделяются основные и доминирующие составляющие выбросов и их источники. В качестве доминирующего источника выбросов, на примере г. Воронеж рассматривается автотранспорт. Предлагается дополнение и уточнение существующей математической модели.

**Ключевые слова:** урбанизированные территории; умный город; устойчивое развитие; управление, автотранспорт, экология.

Первоначально разберемся в понятии «устойчивое развитие», впервые упомянутом в начале 70-х годов 20 века. В это время права окружающей среды впервые вводятся в мировую политику и управление государством. В 80-х годах 20 века, термин впервые встречается в международных документах и подразумевает дальнейшее социально-экономическое развитие человечества без вреда окружающей среде [1, 2]. К настоящему моменту проведено множество исследований, подтверждающих необходимость сохранения окружающей среды, а также ее защиты от техногенных воздействий и деятельности человека. Под понятием устойчивого развития будем понимать постоянное, динамичное развитие человечества с сохранением и восстановлением природных ресурсов и экологии в целом [2]. Понятие «устойчивое развитие» можно представить пересечением трех составляющих: экономического развития, социального прогресса и ответственности за окружающую среду.

Для выражения устойчивого развития в виде математических зависимостей и переменных целесообразно воспользоваться фронтальной моделью экономики. Основными показателями модели является изменение труда и капитала, математически это представляется функцией:

$$Y = f(K, L), \quad (1)$$

где  $K$  – капитал,  $L$  – трудовые ресурсы.

Переходя к выражению устойчивого развития, необходимо взять производную от выражения (1) с добавлением параметра природных ресурсов и экологической составляющей, а также институциональные факторы, включающие организационные, научно-технические, финансовые, инвестиционные, социальные, правовые и другие факторы и меры совершенствования. Условие устойчивого развития будет выполняться при соблюдении равенства

$$F_t(L, K, P, I) \leq F_{t+1}(L, K, P, I), \quad (2)$$

где  $L$  – трудовые ресурсы,  $K$  – капитал или средства производства,  $P$  – природные ресурсы,  $I$  – инвестиционный фактор,  $t$  – временной фактор [4].

Выражение (2) обеспечивает условие сохранения окружающей среды, экологии и природных ресурсов при увеличении производства и сопутствующих экономических факторов.

Одним из новых трендов 21 века стало понятие «*smart city*» или «умный город». Основным принципом «умного города» является формирование устойчивой и комфортной городской среды.

Разработанная министерством строительства и жилищно-коммунального хозяйства концепция умного города, представленная в приказе Минстроя России от 25 декабря 2020 г. №866/пр «Об утверждении Концепции проекта цифровизации городского хозяйства «Умный город», подразумевает ряд направлений деятельности по реализации проекта. Одним из них является безопасный город. Это внедрение мероприятий, улучшающих физическую и виртуальную безопасность людей. Под безопасностью рассматривают следующие вопросы: общественная безопасность, транспортная безопасность, координация служб и ведомств при ЧС, безопасность коммунальной инфраструктуры и экологическая безопасность.

Экологическая безопасность городской среды включает следующие компоненты:

- ✓ системы дистанционного контроля качества атмосферного воздуха;
- ✓ системы дистанционного контроля качества питьевой воды при ее поступлении в центральные сети водоснабжения;
- ✓ системы ведения мониторинга изменений и прогнозирования возможных рисков загрязнения и ухудшения показателей.

Аналогично профильным министерством разработаны базовые и дополнительные требования к умным городам. В документе содержатся сферы применения, набор мероприятий, ожидаемый эффект и предельный срок внедрения. Особый интерес представляют интеллектуальные системы экологической безопасности. Предлагается внедрить четыре мероприятия – два базовых к 2023 году и два дополнительных к 2024 году [4, 5].

Базовым мероприятием является внедрение системы управления обращения с твердыми коммунальными отходами (ТКО). Предлагается внедрение автоматизированной информационной системы обращения с отходами, позволяющей оптимизировать маршруты передвижения спецтехники, анализ деятельности при работе с ТКО, торфообразование и др. Результатом будет бесперебойная работа коммунальных служб и региональных операторов обращения с отходами, новый подход к обустройству полигонов, строительство мусороперерабатывающих и сортировочных заводов.

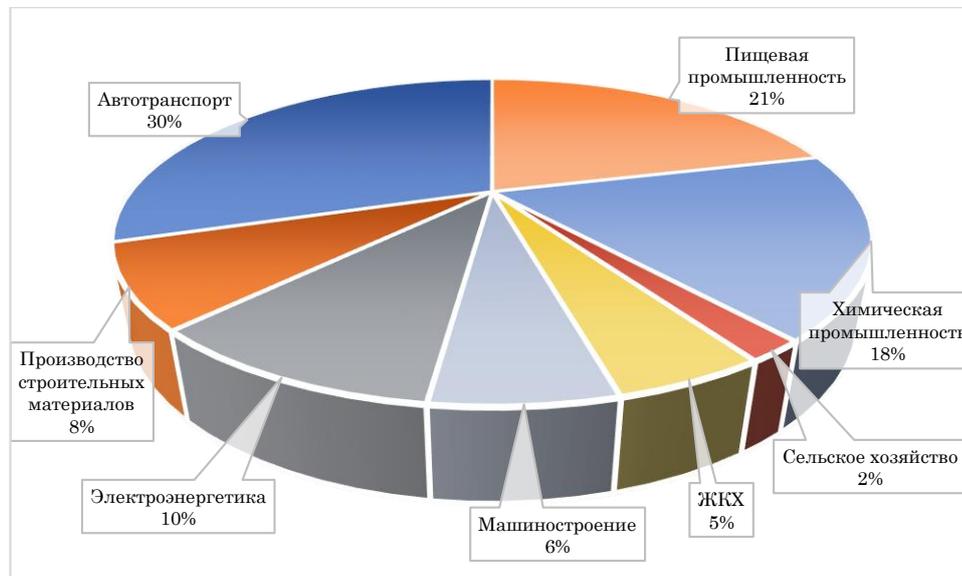
В качестве дополнительного мероприятия предлагается внедрение систем онлайн-мониторинга качества атмосферного воздуха и воды. Введение постоянного контроля и анализа экологической ситуации позволит своевременно предупреждать население и принимать меры по предотвращению критических ситуаций.

Для составления информационной модели экологического мониторинга необходимо определить доминирующие факторы, влияющие на загрязнение атмосферного воздуха и воды. Для г. Воронежа, согласно докладу управления экологии за 2019 год, основным источником является транспорт. Структура загрязнения представлена на рисунке.

Необходимо также определить доминирующие вещества, оказывающие влияние на загрязнение воды и атмосферного воздуха. Для крупных городов таковыми являются: оксид углерода ( $CO$ ). Основным источником выбросов являются продукты сжигания биотоплива.

Диоксид серы ( $SO_2$ ) – продукт сжигания угля и мазута. Оксиды азота ( $NO_x$ ) – продукт сжигания топлив, технологические процессы. Пыль – производства строительных материалов, металлургия, полигоны ТБО [6].

Учитывая природу загрязнений, концепцию «устойчивого развития» можно представить, как простейшую математическую модель для прогнозирования развития ситуации в городе. Наиболее простой в понимании математической моделью является зависимость, хорошо описанная в [7, 8].



Структура загрязнения г. Воронеж

Для математической модели необходима зависимость изменения населения от времени  $x(t)$ , объем вырабатываемой продукции  $y(t)$ ,  $z(t)$  – изменение качества городской среды,  $p(t)$  – загрязнение на единицу продукции [9, 10]. Решая последовательно систему дифференциальных уравнений, возможно спрогнозировать экологическую ситуацию. Система уравнений представляется в виде:

$$\frac{dx}{dt} = xn(y, z), \quad (3)$$

$$\frac{dy}{dt} = y[\gamma - (\gamma + n)(1 - z)^\alpha], \quad (4)$$

$$\frac{dz}{dt} = vz(1 - z) \left[ e^{\omega \left[ \frac{\delta}{\omega} z^p - f(x, y, z, p) \right]} - 1 \right], \quad (5)$$

$$\frac{dp}{dt} = -Xp. \quad (6)$$

Здесь коэффициенты  $f$ ,  $n$  характеризуют прирост загрязнений и городского населения. Приведенные в зависимостях коэффициенты описывают различные параметры устойчивого развития – население, экономику, окружающую среду, системы управления состоянием окружающей среды.

Несмотря на очевидную доступность и простоту использования, по мнению авторов, необходимо ввести дополнительную зависимость, описывающую выброс от автотранспорта. Уравнение тогда можно представить в виде:

$$\frac{dm}{dt} = mn(y, x) + me^\tau, \quad (5)$$

где  $mn(y, x)$  – компонент выбросов от автотранспорта;  $me^\tau$  – компонент, описывающий интенсивность городского движения и загруженность автомагистралей.

### Заключение.

Подтверждена необходимость применения «устойчивого развития» при мониторинге экологической ситуации в городской среде и реализации проекта «Умный город». Согласно

исследованию, для г. Воронеж доминирующим источником является автотранспорт и первоначальные меры по мониторингу должны быть направлены на управление транспортными потоками и определению количественной и качественной характеристики автотранспорта.

Предложенные авторами зависимости дополняют существующие математические модели, дополнительно выделяя компонент автотранспорта. Проработанная структура источников выбросов требует постоянного уточнения и мониторинга, с последующей корректировкой математической модели.

Полученные результаты могут быть использованы для практического применения в ходе разработки информационных моделей мониторинга состояния атмосферного воздуха, воды, экологической обстановки в целом.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Ускова, Т. В.** Устойчивость развития территорий и современные методы управления // Проблемы развития территории. – 2020. – № 2(106). – С. 7-18. – doi: 10.15838/ptd.2020.2.106.1
2. **Суглобов, А. Е.** Сельская социальная инфраструктура: проблемы, тенденции развития // Дайджест Финансы. – 2006. – № 9. – С. 45-51
3. **Воробьева, Ю. А.** Градостроительная концепция создания инновационного центра в воронежской области с учетом принципов «умного города» // Ю. А. Воробьева, Т. В. Щукина, Ю. И. Кармазин, А. М. Ходунов // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2019. – № 8. – С. 49-56.
4. **Плотникова, Л. В.** Экологическое управление качеством городской среды на высокоурбанизированных территориях дис. ... канд. экон. наук: 08.00.05 / Плотникова Лариса Васильевна; Российская экономическая академия Плеханова Г.В. – Мск., 2009. 376 с.
5. **Сотникова, О. А.** Устойчивое развитие территорий: соотношение природной среды и городской застройки / О. А. Сотникова, Т. В. Богатова, Э. Е. Семенова // Социология города. – 2020. – № 3. – С. 30-40.
6. **Курипта, О. В.** Автоматизация расчетов экологической безопасности городских автозаправочных станций / О. В. Курипта, К. В. Гармонов, Ю. А. Воробьева // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2021. – № 1(16). – С. 69-78.
7. **Золотухина, Я. А.** Сравнительный анализ показателей индекса развития человеческого потенциала, как одного из индикаторов устойчивого развития, на примере воронежской области / Я. А. Золотухина, Е. Е. Прокшиц, О. А. Сотникова // Цели и пути устойчивого экономического развития. Сборник статей по материалам международной научно-практической конференции, Уфа. – 2020. – С. 263-272.
8. **Milik A., Prskawetz A., Feichtinger G., Sanderson W.C.** Slow-wast dynamics in Wonderland / A. Milik, A. Prskawetz, G. Feichtinger, W.C. Sanderson // *Envir. Modeling & Assessment*. – 1996. – № 1. – Pp. 3-17.
9. **Ризниченко, Г. Ю.** Математические модели в биофизике и экологии / Г. Ю. Ризниченко. – М.: ИКИ, 2003. – 184 с.
10. **Зарипов, Ш. Х.** Введение в математическую экологию: учебно-методическое пособие / Ш. Х. Зарипов. – Казань: Казанского федерального университета, 2010. – 47 с.

*Поступила в редакцию 23 апреля 2021*

### SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF TERRITORIES AND ITS ENVIRONMENTAL COMPONENT IN THE IMPLEMENTATION OF THE SMART CITY PROJECT

**O. A. Sotnikova, E. A. Ryazantseva, R. A. Sheps**

Sotnikova Olga Anatolyevna, Dr. Sc. (Technical), Professor of the Department Design of Buildings and Structures named after N. V. Troitsky, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, phone: +7(473)2-774-339; e-mail: hundred@vgasu.vrn.ru

Ryazantseva Elena Aleksandrovna, post-graduate student of the Department Design of Buildings and Structures named after N. V. Troitsky, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, phone: +7(951)850-15-10; e-mail: eryazanceva@vgasu.vrn.ru

Sheps Roman Aleksandrovich, Cand. Sc. (Technical), Associate Professor of the Department of Housing and Communal Services, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, phone: +7(960)131-66-01; e-mail: ro-mansheps@yandex.ru

This article raises the problem of sustainable development of territories in the implementation of the Smart City project. One of the main components of urban development is the environmental component. In this paper, the authors identify the main parameters for assessing environmental situation in an urbanized environment in order to make optimal management decisions. The dependencies that allow us to justify the information model of monitoring the state of the environment are considered. The main and dominant components of emissions and their sources are identified. Voronezh motor transport is considered to be the dominant source of emissions in the city. It is proposed to supplement and refine the existing mathematical model.

**Keywords:** urbanized territories; smart city; sustainable development; management; motor transport; ecology.

## REFERENCES

1. **Uskova T. V.** *Sustainability of territorial development and modern management methods*. Problems of territory development. 2020. No. 2(106). Pp. 7-18. doi: 10.15838 / ptd.2020.2.106.1. (in Russian)
2. **Suglovov A. E.** *Rural social infrastructure: problems, development trends*. Digest Finance. 2006. No. 9. Pp. 45-51. (in Russian)
3. **Vorob'eva Yu. A., Shchukina T. V., Karmazin Yu. I., Khodunov A. M.** *Urban planning concept of creating an innovative center in the Voronezh region taking into account the principles of the "smart city"*. Bulletin of the Belgorod State Technological University named after V. G. Shukhov. 2019. No. 8. Pp. 49-56. (in Russian)
4. **Plotnikova L. V.** *Ecological management of the quality of the urban environment in the highly urbanized territories dis. ... kand. ekon. nauk: 08.00.05 / Plotnikova Larisa Vasilyevna; Russian Academy of Economics Plekhanova G. V.-Moscow, 2009. 376 p. (in Russian)*
5. **Sotnikova O. A., Bogatova T. V., Semenova E. E.** *Sustainable development of territories: the ratio of the natural environment and urban development*. Sociologiya goroda. 2020. No. 3. Pp. 30-40. (in Russian)
6. **Kuripta O. V., Harmonov K. V., Vorobyova Yu. A.** *Automation of calculations of ecological safety of urban gas stations*. Housing and communal infrastructure. 2021. No. 1(16). Pp. 69-78. (in Russian)
7. **Zolotukhina I. A., Praxic E. E., Sotnikova O. A.** *Comparative analysis of the development index of human potential, as one of the indicators of sustainable development on the example of Voronezh region*. Goals and sustainable economic development. Collection of articles based on the materials of the international scientific and practical conference. 2020. Pp. 263-272. (in Russian)
8. **Milik A., Prskawetz A., Feichtinger G., Sanderson W. C.** *Slow-wast dynamics in Wonderland, Envir. Modeling & Assessment*, 1996. No. 1. Pp. 3-17.
9. **Riznichenko G. Yu.** *Mathematical models in biophysics and ecology*. Moscow, IKI. 2003. 184 p. (in Russian)

10. **Zaripov Sh. Kh.** *Vvedenie v matematicheskuyu ekologiyu*. Kazan, Publishing House of the Kazan Federal University. 2010. 47 p. (in Russian)

*Received 23 April 2021*

**Для цитирования:**

**Сотникова, О. А.** Учет экологического воздействия автотранспорта при реализации проекта «Умный город» / О. А. Сотникова, Е. А. Рязанцева, Р. А. Шепс // *Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура*. – 2021. – № 2(17). – С. 86-91.

**FOR CITATION:**

**Sotnikova O. A., Ryazantseva E. A., Sheps R. A.** *Sustainable development of territories and its environmental component in the implementation of the Smart City project*. Housing and utilities infrastructure. 2021. No. 2(17). Pp. 86-91. (in Russian)

## **ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА ECONOMICS AND ORGANIZATION OF CONSTRUCTION**

УДК 625.85:338.5

### **ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ТЕХНОЛОГИИ ХОЛОДНОГО РЕСАЙКЛИНГА ПРИ РЕМОНТЕ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ И УЛИЦ**

**В. Ю. Вербин, В. М. Дудин**

---

Вербин Василий Юрьевич, магистрант кафедры гидротехнического и дорожного строительства, ФГБОУ ВО «Ярославский государственный технический университет», Ярославль, Российская Федерация, тел.: +7(915)980-05-25; e-mail: v.verbin@mail.ru

Дудин Владимир Михайлович, канд. техн. наук, доцент кафедры гидротехнического и дорожного строительства, ФГБОУ ВО «Ярославский государственный технический университет», Ярославль, Российская Федерация, тел.: +7(915)976-15-46; e-mail: dudinvn@ystu.ru

---

При строительстве и капитальном ремонте автомобильных дорог широко используется комплексно-механизированный метод, который основывается на применении современных технологий, машин и механизмов. При этом достигается максимальная производительность, минимальная стоимость и оптимальные сроки производства работ. Существует множество подходов к выбору технологий для выполнения строительных работ и ремонтных работ. Одним из них является экономическое сравнение различных технологий, что позволяет наиболее полно учесть множество факторов, оказывающих влияние на строительный процесс. В предложенной работе рассматривается применение такого подхода для выбора технологии капитального ремонта дорожной одежды автомобильной дороги. В качестве инновационной предлагается технология холодного ресайклинга. На основании выполненных расчётов при сравнении различных технологий для дорожного участка приводится порядок рекомендуемых действий, предшествующих выбору экономически обоснованной технологии.

**Ключевые слова:** дорожная одежда; ремонт; холодный ресайклинг; экономический анализ.

Постоянно растущая интенсивность движения по автомобильным дорогам общего пользования, увеличение нагрузок на ось грузовых автомобилей требуют повышения несущей способности дорожной одежды эксплуатируемых дорог, что достигается при реконструкции или капитальном ремонте автомобильных дорог и улиц. В настоящее время наряду с традиционными методами капитального ремонта, реконструкции и усиления конструкции дорожной одежды автомобильных дорог и улиц появились принципиально новые технологии, отвечающие последним требованиям все возрастающей интенсивности дорожного движения, основанные на последних достижениях науки и техники. Одна из подобных технологий, которая наиболее полно отвечает предъявляемым требованиям к усилению дорожной одежды, является «холодная регенерация» или «ресайклинг» [1, 2]. Суть данной технологии заключается в измельчении и перемешивании существующего асфальтобетонного покрытия и слоя нижележащего материала с добавлением связующих материалов с целью получения прочного, однородного дорожного основания – асфальтогранулобетона, который представляет собой композиционный материал с новыми свойствами, существенно отличающимися от первоначальных. На это основание впоследствии укладывается новое асфальтобетонное покрытие или слой поверхностной обработки. В итоге получается новая дорога с улучшенными физико-механическими характеристиками.

Определяющим фактором при выборе той или иной технологии капитального ремон-

та автомобильных дорог прежде всего является экономический анализ.

Следует исходить из необходимости снижения бюджетных расходов при сокращённых сроках производства строительно-ремонтных работ и минимизацией издержек, связанных с закрытием дороги или уменьшением пропускной способности на участке капитального ремонта или реконструкции.

Целью настоящей работы является разработка обоснования выбора технологии капитального ремонта с использованием экономических показателей.

Проект капитального ремонта или реконструкции участка автомобильной дороги может характеризоваться рядом технико-экономических показателей, определяющих степень эффективности намечаемых работ, а именно:

- ✓ сметная стоимость строительно-ремонтных работ;
- ✓ затраты труда рабочих и машин;
- ✓ механизация и автоматизация работ;
- ✓ материалоемкость работ;
- ✓ эффективность последующей эксплуатации сооружения;
- ✓ особые условия производства работ.

Сметная стоимость – сумма денежных средств, необходимых для осуществления строительства или капитального ремонта в соответствии с проектными материалами. В сметную стоимость входят все издержки строительного производства – закупка материалов, затраты на эксплуатацию машин и механизмов, оплата труда рабочих и машинистов, затраты на административно-управленческий персонал [3].

Сметная стоимость состоит из себестоимости работ и сметной прибыли, определяется по формуле [3]:

$$C_{\text{см}} = C_{\text{себ}} + \text{СП}, \quad (1)$$

где  $C_{\text{себ}}$  – себестоимость работ, тыс. руб; СП – сметная прибыль, тыс. руб.

Себестоимость строительно-ремонтных работ определяется по формуле [3]:

$$C_{\text{себ}} = \text{ПЗ} + \text{НР}, \quad (2)$$

где ПЗ – прямые затраты, тыс. руб; НР – накладные расходы, тыс. руб.

Прямые затраты включают статьи расходов, непосредственно связанные с производством строительно-ремонтных работ:

- ✓ стоимость материалов;
- ✓ стоимость эксплуатации машин и механизмов;
- ✓ фонд оплаты труда (в т.ч. затраты на заработную плату основных рабочих-строителей и машинистов).

Формула для расчёта прямых затрат выглядит следующим образом [3]:

$$\text{ПЗ} = \text{МАТ} + \text{ЭММ} + \text{ФОТ}, \quad (3)$$

где МАТ – затраты на материалы, тыс. руб; ЭММ – затраты на эксплуатацию машин и механизмов, тыс. руб; ФОТ – затраты на оплату труда рабочих-строителей и рабочих-механизаторов, тыс. руб.

Стоимость ремонта одного километра дороги определяем по формуле:

$$C_{\text{км}} = \frac{\text{ПЗ}}{L}, \quad (4)$$

где ПЗ – прямые затраты, тыс. руб;  $L$  – длина трассы, км.

Стоимость ремонта  $1000 \text{ м}^2$  дороги определяем по формуле:

$$C_{\text{плоч}} = \frac{\text{ПЗ}}{S}, \quad (5)$$

где  $S$  – площадь покрытия, тыс.  $\text{м}^2$ .

Для определения уровня рентабельности воспользуемся формулой [3]:

$$P = \frac{\text{СП}}{C_{\text{себ}}} \cdot 100. \quad (6)$$

Определяем материалоемкость по формуле [3, 4]:

$$M_{\text{мат}} = \frac{\text{МАТ}}{C_{\text{см}}} \cdot 100, \quad (7)$$

где  $C_{\text{см}}$  – сметная стоимость, тыс. руб.

Важными экономическими показателями являются общая и удельная трудоемкость ремонта.

Для определения трудоемкости по всем видам работ используем Государственные Элементные Сметные Нормы (ГЭСН) для определения затрат труда рабочих для каждого вида работ, суммируем их по среднему разряду, данному в нормах. Определяем средневзвешенный разряд рабочих, необходимых для выполнения работ, что поможет понять среднюю квалификацию рабочих для того или иного метода ремонта автомобильной дороги.

Средневзвешенный разряд рабочих рассчитываем, как среднее арифметическое взвешенное по формуле [3, 4]:

$$X = \frac{\sum_{i=1}^n a_i \cdot x_i}{\sum_{i=1}^n x_i}, \quad (8)$$

где  $a_i$  – затраты труда рабочих  $x_i$  разряда, чел. час;  $x_i$  – разряд рабочих.

Среднесписочное количество рабочих рассчитывается по формуле:

$$N = \frac{Q \cdot K_{\text{зап}}}{8 \cdot t}, \quad (9)$$

где  $Q$  – суммарные трудозатраты по ГЭСН, чел. часы;  $t$  – сроки выполнения работы, смен;  $K_{\text{зап}} = 1,08$  – коэффициент, учитывающий непредвиденные работы (МДС 81-35.2004. Методика определения стоимости строительной продукции на территории Российской Федерации).

Важным показателем является удельная трудоемкость работ, т.е. затраты труда на 1 руб. сметной стоимости строительно-монтажных работ –  $K_T$ . Показатель удельной трудоемкости работ отражает затраты живого труда при производстве строительно-монтажных работ и характеризует технологичность конструктивных решений сооружаемого объекта и уровень механизации строительно-монтажных работ.

Удельная трудоемкость работ может определяться по следующим формулам [3]:

$$K_{Tc} = \frac{T_0}{C_c}, \quad (10)$$

$$K_{Tv} = \frac{T_0}{L}, \quad (11)$$

где  $T_0$  – суммарные затраты труда при производстве работ, чел-час;  $C_c$  – сметная стоимость ремонта, тыс. руб.;  $L$  – длина трассы ремонтируемого участка автомобильной дороги, км;

Также важным показателем является механовооруженность работ, которая определяет отношение затрат на эксплуатацию машин и механизмов (ЭММ), требующихся для выполнения работ, к себестоимости строительно-монтажных работ. Хорошим показателем механовооруженности работ является показатель порядка 10...18 %. Определяется данный показатель по формуле [3]:

$$M_p = \frac{\text{ЭММ} \cdot 100}{C_{\text{себ}}}. \quad (12)$$

Определение состава звена является важным элементом организации строительного процесса. От выбора элементов звена зависит общая эффективность производства работ.

Сменная стоимость эксплуатации звена определяется как сумма произведений стоимости одного часа эксплуатации техники, количества требуемых единиц и продолжительности работы в смену [3, 4]:

$$C_{\text{смены}} = \sum_{i=1}^j C_{\text{маш}}^i \cdot n_i \cdot t_i, \quad (13)$$

где  $C_{\text{маш}}^i$  – стоимость машино-часа эксплуатации единицы, руб.;  $n_i$  – количество единиц техники;  $t_i$  – время работы в смену, час.

Рассмотрим применение данного подхода для выбора технологии капитального ремонта на примере участка автомобильной дороги IV технической категории Туношна – Бурмакино в Ярославском районе Ярославской области протяженностью 6,803 км.

Рассмотрим три технологии строительства: традиционную (СП.78.13330.2012. Автомобильные дороги.); технология, выбранная в существующей проектно-сметной документации и технологию холодного ресайклинга [1, 2].

Традиционный метод ремонта включает разборку асфальтобетонного покрытия и основания, устройство нового слоя щебёночного основания и двухслойного асфальтобетонного покрытия. Технология, выбранная в существующей проектно-сметной документации (ПСД), включает фрезерование покрытия существующей дорожной одежды, устройство выравнивающего слоя из асфальтобетонной смеси и устройство двухслойного асфальтобетонного покрытия.

Технология холодного ресайклинга включает ресайклирование существующего асфальтобетонного покрытия и слоя основания с получением асфальтогранулобетонной смеси. В примере рассмотрен способ укрепления дорожной одежды способом цементации [5] с добавкой 3 % цемента марки ЦЕМ I 42,5Н. Выбор количества цемента, соотношения массы асфальтобетона и массы щебёночного основания, которое захватывается фрезой ресайклера, производилось на основании проведенных в лаборатории дорожного хозяйства ФГБОУ ВО ЯГТУ экспериментальных исследований [6, 7, 8].

Для каждой технологии были выполнены расчёты конструкции дорожной одежды по ПНСТ 265-2018 «Дороги автомобильные общего пользования. Проектирование нежестких дорожных одежд». При разработке конструкции дорожной одежды учитывались рекомендации ПНСТ 184-2019 «Смеси асфальтобетонные дорожные и асфальтобетон. Технические условия» и ГОСТ 58406.2-2020 «Дороги автомобильные общего пользования. Смеси горячие и асфальтобетон. Технические условия».

После этого были составлены перечни строительных операций, определены объёмы строительных работ, подобрана строительная техника, составлены технологические карты на производство работ. Технологические карты на традиционный метод капитального ремонта и на технологию по ПСД разрабатывались с учётом рекомендаций СП 78.133330.2012 «Автомобильные дороги». После чего, на основании федеральной сметно-нормативной базы 2001 года в редакции 2017 г. с изменениями № 4, базисно-индексным методом с индексом пересчета в текущие цены, были составлены локальные сметы для каждого метода ремонта.

Результаты расчётов сведены в таблицу, где показатели с 1 по 19 определяются прочностными и технологическими расчётами и расчётами по вышеприведённым формулам. Требуется некоторое пояснение содержания пунктов 20...22.

При использовании технологии холодного ресайклинга в качестве вяжущего был выбран цемент. Лабораторные исследования показали, что для набора ресайклированным основанием достаточной прочности необходимо соблюдать семидневный технологический перерыв. За этот срок конструктивный слой наберет начальную прочность, которая не позволит материалу разрушаться под действием внутренних напряжений при наборе прочности асфальтогранулобетона и от нагрузки строительной техники. Для остальных методов никаких технологических перерывов не требуется.

При производстве работ по технологии ПСД огромную долю прямых затрат составляют материалы. При данном виде ремонта идет повышенный расход асфальтобетонных смесей, имеющих самую большую цену из всех применяемых материалов при строительстве и ремонте автомобильных дорог. Данный метод, как и традиционный, обладает повышенными объемами привозных материалов, так как старые материалы не используются, в отличие от метода холодного ресайклинга. Традиционный метод ремонта требует большое

количество вывоза старого материала и доставки новых инертных материалов, что приводит к необходимости использования большого количества автосамосвалов. По данному показателю холодный ресайклинг так же позволяет экономить в технике, так как все работы производятся на месте без необходимости лишних транспортных затрат.

Технико-экономические показатели  
методов капитального ремонта участка автомобильной дороги

Показатель	Значение показателя при различных методах ремонта		
	Традиционный метод	Выбранный в существующей ПСД	Холодный ресайклинг
1. Прочностные характеристики готовой конструкции дорожной одежды, МПа	291	299	399*
2. Коэффициент запаса прочности	1,19	1,16	1,6*
3. Прямые затраты, тыс. руб:			
а) На всю трассу	73 823,62	89 724,77	65 087,52*
б) На 1 км	10 851,63	13 189,00	9 806,62*
в) На 1000 м <sup>2</sup>	1 808,61	2 198,17	1 634,44*
4. Материалы, тыс.руб.	64 394,39	83 213,87	53 600,14*
5. Эксплуатация машин и механизмов, тыс.руб.	9 109,26	6 174,57*	11 133,08
6. Фонд оплаты труда, тыс. руб.	733,68*	658,97	732,58
7. Накладные расходы, тыс. руб.	1013,80	913,12*	1 037,48
8. Сметная прибыль, тыс. руб.	569,85	519,16	589,43*
9. Себестоимость, тыс. руб.	74 837,42	90 637,89	66 125*
10. Сметная стоимость, тыс. руб.	75 407,27	91 157,05	66 714,43*
11. Рентабельность, %	7,5	5,7	8,8*
12. Материалоемкость, %	86	91,8	81,1*
13. Средневзвешенный разряд рабочих	3,4	3,8	3,4*
14. Среднесписочное количество рабочих	21*	21*	23
15. Показатель удельной трудоемкости			
✓ $K_{Tc}$	0,069	0,057*	0,085
✓ $K_{Tv}$	760,0*	763,0	838,0
16. Механовооруженность, %	12,2	6,8	16,8*
17. Общее количество единиц техники в составе звена	29	17	16*
18. Стоимость смены эксплуатации звена, тыс. руб.	260,36	239,99*	315,56
19. Количество технологических операций	39	29*	31
20. Необходимость технологического перерыва, дней	-	-	7
21. Стоимость содержания, тыс. руб.	1 085,1	1 314,2	958,8
22. Особые условия производства работ	Закрытие дороги и устройство временного объезда	Движение по одной половине проезжей части*	Движение по одной половине проезжей части*

Примечание: \* - оптимальные показатели для различных технологий капитального ремонта

Одним из наиболее значимых факторов является стоимость содержания автомобильной дороги. Плановое и качественное содержание автомобильной дороги обеспечивает максимальные сроки службы дорожной одежды, сохраняя ее основные технические параметры на нормативном уровне.

В состав работ по содержанию в соответствии с ГОСТ 33180-2014 «Дороги автомобильные общего пользования. Требования к уровню летнего содержания» и ГОСТ 33180-2014 «Дороги автомобильные общего пользования. Требования к уровню зимнего содержания» входят следующие виды работ:

1. Работы по полосе отвода, земляному полотну и системе водоотвода:
  - ✓ очистка от мусора полосы отвода, обочин;
  - ✓ прочистка и профилирование кюветов;
  - ✓ подсыпка и планировка неукрепленной части обочины;
  - ✓ прочистка водопропускных труб, дренажных устройств;
  - ✓ планировка откосов насыпей и выемок с исправлением повреждений укрепленной части.
2. Работы по дорожным одеждам:
  - ✓ очистка от мусора и грязи проезжей части;
  - ✓ восстановление сцепных свойств покрытия;
  - ✓ устранение деформаций и повреждений покрытия, таких как выбоины, выкрашивания, трещины;
  - ✓ ликвидация колеяности;
  - ✓ восстановление поперечного профиля и ровности автомобильной дороги.
3. Работы по искусственным и защитным дорожным сооружениям:
  - ✓ очистка от пыли и грязи мостового полотна и тротуаров, пролетных строений, лестничных сходов;
  - ✓ исправление водопропускных труб, водоотводных лотков;
  - ✓ окраска металлических конструкций пролетных строений и опор;
  - ✓ санация трещин, деформационных швов на мостовом полотне.
4. Работы по элементам обустройства автомобильных дорог:
  - ✓ очистка и мойка дорожных знаков, пешеходных, барьерных, тросовых ограждений;
  - ✓ нанесение новой и восстановление старой дорожной разметки;
  - ✓ окраска элементов обстановки и обустройства автомобильных дорог.
5. Работы по зимнему содержанию:
  - ✓ уход за постоянными снегозащитными сооружениями;
  - ✓ заготовка, установка, перестановка и уборка временных снегозащитных сооружений;
  - ✓ механизированная снегоочистка с вывозом снега;
  - ✓ борьба с зимней скользкостью, распределением противогололедных материалов;
  - ✓ очистка водопропускных сооружений в весенний период.

Согласно [4, прил. 14] ежегодные затраты на содержание автомобильных дорог составляют от 0,68 до 1,5 % от стоимости дорожной одежды.

Так как в данном примере рассматривается лишь один участок дорожного полотна, который ремонтируется разными методами, то соответственно элементы обустройства, искусственные сооружения и земляное полотно не меняются, соответственно затраты на содержание данных элементов будут равны.

Исходя из вышеизложенного, имеется возможность сравнить ежегодные затраты на содержание автомобильной дороги после ее капитального ремонта, вычислив стоимость годового содержания по формуле [3]:

$$C_{\text{содер}} = \frac{C_{\text{себ}} \cdot K_{\text{год}}}{100}, \quad (14)$$

где  $K_{\text{год}}$  – относительные ежегодные затраты на содержание, %.

Согласно [4, прил.14] для автомобильной дороги IV технической категории с асфальтобетонным покрытием  $K_{год}$  будет равняться 1,45 %. В соответствии с этим, рассчитаем стоимость ежегодного содержания автомобильных дорог после капитального ремонта каждым методом:

$$C_{содер}^{ТР} = \frac{74\,837,42 \cdot 1,45}{100} = 1\,085,1 \text{ тыс. руб.};$$
$$C_{содер}^{ПСД} = \frac{90\,637,89 \cdot 1,45}{100} = 1\,314,2 \text{ тыс. руб.};$$
$$C_{содер}^{ХР} = \frac{66\,125 \cdot 1,45}{100} = 958,8 \text{ тыс. руб.}$$

В результате получится, что стоимость содержания участка автомобильной дороги, отремонтированной по технологии ПСД дорожке метода холодного ресайклинга на 37 % и на 21 % дорожке традиционного метода, что говорит о недостаточной эффективности данного метода ремонта. Метод холодной регенерации выигрывает у традиционного метода порядка 13 %.

Немаловажными факторами в экономической эффективности автомобильной дороги являются условия производства работ. При производстве работ традиционным методом необходимо производить закрытие участка дороги или устройство временных дорог, а это дополнительные затраты на большие объемы привозного материала (песок, грунт супесчаный), работы по устройству насыпи временной дороги, работы по ее ликвидации после окончания работ и восстановления придорожной полосы. Всё это влечет необходимость дополнительных затрат. В случае закрытия дороги полностью это влияет на экономическую составляющую района, так как эффективность транспортного сообщения уменьшится.

При капитальном ремонте по технологии ПСД и при холодном ресайклинге ремонт можно производить по полосам движения. Это снизит экономическую эффективность дороги, так как пропускная способность дороги уменьшится, но в случае правильной работы подрядной организации это снижение будет минимальным.

### **Заключение.**

С точки зрения прямых затрат и себестоимости строительства, наиболее выгодным является технология холодного ресайклинга. Себестоимость данного метода ниже, чем себестоимость традиционного метода и метода, выбранного в существующей проектно-сметной документации, на 13 % и 37 % соответственно. Полученные показатели могут служить достаточным основанием для служб заказчика в случае возникающих сомнений в выборе метода капитального ремонта.

Показатели рентабельности тоже характеризуют холодный ресайклинг, как наиболее выгодный вариант ремонта, позволяя получить плановую прибыль в размере 8,8 % от стоимости строительно-монтажных работ, что на 14 % выше, чем при традиционном ремонте и на 54 % выше, чем при методе, использованном по технологии ПСД.

Выполненный экономический анализ показал несомненную перспективность применения холодного ресайклинга при капитальном ремонте дорожных одежд автомобильных дорог и улиц.

### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. **Горнаев, Н. А.** Технология холодной регенерации асфальтобетона / Н. А. Горнаев // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2005. – № 3. – С. 43-44.
2. **Евстегнеева, В. Н.** Ремонт и реконструкция асфальтобетонных покрытий методом холодного ресайклинга / В. Н. Евстегнеева, В. Г. Степанец // Молодой ученый. – 2017. – № 38. – С. 21-28.

3. **Гавриш, В. В.** Экономика дорожного строительства. Часть 1. / В. В. Гавриш. – Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2013. – 478 с.

4. **Авсеенко, А. А.** Методические указания по экономическому обоснованию решений при проектировании автомобильных дорог / А. А. Авсеенко, Н. П. Кикава. – М.: МАДИ. 2011. – 59 с.

5. **Дудин, В. М.** Стабилизация грунтов при строительстве автомобильных дорог / В. М. Дудин, А. А. Игнатьев. – Ярославль: Изд. дом ЯГТУ, 2016. – 165 с.

6. **Артемьева, Л. А.** Подбор состава смеси при холодном ресайклинге / Л. А. Артемьева, В. М. Дудин // Сборник материалов 73 всероссийской научно-технической конференции студентов, магистрантов и аспирантов высших учебных заведений с международным участием. – Ярославль, 2020. – С. 632-637.

7. **Рытяков, М. А.** Методы объёмного проектирования, основанные на подборе гранулометрического состава смеси при холодном ресайклинге / М. А. Рытяков, В. Ю. Вербин, В. М. Дудин // Сборник материалов 72 всероссийской научно-технической конференции студентов, магистрантов и аспирантов высших учебных заведений с международным участием. – Ярославль, 2020. – С. 660-665.

8. **Кривчиков, Ю. И.** Влияние содержания минерального вяжущего на прочность асфальтогранулобетона при холодном ресайклинге / Ю. И. Кривчиков, В. М. Дудин // Межвузовский сборник научных трудов Математика и естественные науки. Теория и практика. – Ярославль: Изд-во ЯГТУ, 2020. – Вып. 15. – С. 164-168.

*Поступила в редакцию 29 января 2021*

## ECONOMIC JUSTIFICATION OF THE COLD RECYCLING TECHNOLOGY CHOICE IN THE REPAIR OF HIGHWAY AND ROAD SURFACES

**V. Yu. Verbin, V. M. Dudin**

---

Verbin Vasily Yuryevich, master's student, Yaroslavl State Technical University, Yaroslavl, Russia, phone: +7(915)980-05-25; e-mail: v.verbin@mail.ru

Dudin Vladimir Mikhailovich, Cand. Sc. (Technical), Associate Professor of the Department of Hydraulic Engineering and Road Construction, Yaroslavl State Technical University, Yaroslavl, Russia, phone: +7(915)976-15-46; e-mail: dudinv@ystu.ru

---

In construction and major repairs of highways, a complex mechanized method is widely used, which is based on the use of modern technology, equipment and mechanisms. At the same time maximum productivity, minimum cost and optimal terms of work production are achieved. There are some approaches to the technologies choice for performance of construction and repair work. One of them is an economic comparison of different technologies, which allows you to take into account the most complete set of factors that affect the construction process. The application of this approach to the technology choice for major repairs of the highway surfacing is considered in this work. The technology of cold recycling is offered as an innovative one. We offer the order of actions that precede the choice of a particular technology, being based on the calculations performed when comparing different technologies for a particular road section.

**Keywords:** road surfacing; repair; cold recycling; economic analysis.

### REFERENCES

1. **Gornaev N. A.** *Technology of cold regeneration of asphalt concrete*. Science and technology in the road industry. 2005. No. 3. Pp. 43-44. (in Russian)

2. **Evstegneeva V. N., Stepanets V. G.** *Repair and reconstruction of asphalt concrete coatings by cold recycling*. A young scientist. 2017. No. 38. Pp. 21-28. (in Russian)
3. **Gavrish V. V.** *Economics of road construction. Part 1*. Krasnoyarsk, Siberian Federal University. 2013. 478 p. (in Russian)
4. **Avseenko A. A., Kikava N. P.** *Methodological guidelines for the economic justification of decisions in the design of highways*. Moscow, MADI. 2011. 59 p. (in Russian)
5. **Dudin V. M., Ignatiev A. A.** *Stabilization of soils in the construction of highways*. Yaroslavl, Publishing House of YAGTU. 2016. 165 p. (in Russian)
6. **Artemyeva L. A., Dudin V. M.** *Selection of the composition of the mixture in cold recycling*. Collection of materials of the 73rd All-Russian scientific and technical conference of students, undergraduates and postgraduates of higher educational institutions with international participation. Yaroslavl. 2020. Pp. 632-637. (in Russian)
7. **Rytyakov M. A., Verbin V. Yu., Dudin V. M.** *Methods of volumetric design, based on the selection of the granulometric composition of the mixture in cold recycling*. Collection of materials of the 72 All-Russian scientific and technical conference of students, undergraduates and postgraduates of higher educational institutions with international participation. Yaroslavl. 2020. Pp. 660-665. (in Russian)
8. **Krivchikov Yu. I., Dudin V. M.** *Influence of the mineral binder content on the strength of asphalt-granulocrete during cold recycling*. Inter-university collection of scientific. Maths and science. Theory and practice. Yaroslavl, Publishing house of YAGTU. 2020. Issue 15. Pp. 164-168. (in Russian)

*Received 29 January 2021*

**ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:**

**Вербин, В. Ю.** Экономическое обоснование выбора технологии холодного ресайклинга при ремонте автомобильных дорог и улиц / В. Ю. Вербин, В. М. Дудин // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2021. – № 2(17). – С. 92-100.

**FOR CITATION:**

**Verbin V. Yu., Dudin V. M.** *Economic justification of the cold recycling technology choice in the repair of highway and road surfaces*. Housing and utilities infrastructure. 2021. No. 2(17). Pp. 92-100. (in Russian)

УДК 332.1:621.31

## ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА РЕСПУБЛИКИ ЮЖНАЯ ОСЕТИЯ

**К. Н. Савин, А. В. Шеломенцев, В. В. Джабиев, О. В. Коробова**

Савин Константин Николаевич, д-р экон. наук, д-р техн. наук, профессор, почетный работник ЖКХ России, почетный работник Высшего профессионального образования РФ, Президент Ассоциации «ЖКХ-68», Тамбов, Российская Федерация; тел.: +7(4752)63-23-75; e-mail: kon-savin@yandex.ru

Шеломенцев Андрей Геннадьевич, д-р экон. наук, профессор, руководитель сектора Института экономики Уральского отделения, Екатеринбург, Российская Федерация, тел.: +7(912)602-76-91; e-mail: a.shelom@yandex.ru;

Джабиев Вячеслав Владимирович, научный сотрудник, Юго-Осетинский научно-исследовательский институт имени Захара Ванеева при Президенте РЮО, Цхинвал, Республика Южная Осетия; тел.: +7(929)805-95-61; e-mail: ir\_les@mail.ru;

Коробова Ольга Викторовна, канд. экон. наук, доцент, доцент кафедры Менеджмент, ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», Тамбов, Российская Федерация, +7(4752)63-23-75; e-mail: ovk77@list.ru

Рассмотрены особенности функционирования и развития энергетической сферы Республики Южной Осетии. Проанализированы основные институциональные резервы развития отрасли, предложены мероприятия для поддержания объектов энергетического комплекса в рабочем состоянии, с учетом предоставляемой финансовой помощи Российской Федерации. Рассмотрены возможности строительства малых гидроэлектростанций, способных обеспечить новые предприятия необходимыми энергетическими мощностями и выступить резервными генерирующими электрическую энергию объектами на территории Республики. Проанализированы возможности продажи электроэнергии на внешний рынок, с учетом альтернативных источников электроэнергии, по обоснованному экономическому тарифу. Делаются выводы об основных перспективах и тенденциях обеспечения Республики электроэнергией, являющейся основой экономической безопасности и ключевым фактором политической стабильности в регионе до 2030 года.

**Ключевые слова:** Республика Южная Осетия; экономика; бюджет; электроэнергетика; жилищно-коммунальное хозяйство; экономическая безопасность; жизнеобеспечение.

Современная международная обстановка инициирует процессы изменения как в политической, так и экономической сферах Республики Южная Осетия (РЮО). Вопросы экономического обеспечения напрямую связаны с обеспечением национальной безопасности [1]. По-прежнему остается угроза возобновления военных действий в регионе, что придает остроту вопросам обеспечения экономической и энергетической безопасности государства [2].

Даже краткий обзор теоретических подходов и определения понятия «безопасность» раскрывает многоплановый характер вопросов безопасности, в том числе целый комплекс социальных, экономических, организационных, управленческих и другие факторы в их взаимоотношениях и взаимодействии. Это определяет сложность выбора приоритетных мер по обеспечению безопасности в широком смысле.

Экономическая безопасность представляет собой наиболее эффективное использование всех ресурсов субъекта с целью предотвращения возможных угроз со стороны внешней и внутренней среды. Определение экономической безопасности является сложным вопросом, учитывая, что центральной характеристикой рыночной экономической системы является «незащищенность» [3]. Рыночная экономика лучше всего функционирует в условиях

повсеместной конкуренции и постоянной угрозы краха. Поэтому стремление к экономической безопасности, по-видимому, противоречит поддержке глобальной экономики, основанной на рыночных механизмах, таких как свободная торговля и конкуренция. Конечно, эта позиция основывается на том, что потребности рынка равны или совпадают с потребностями отдельных людей.

Конкуренция сама по себе не противоречит безопасности. Опыт развивающихся стран показывает, что торговые ограничения благоприятствуют уже развитым или богатым странам. Проблема заключается не в отсутствии безопасности, вызванной свободной торговлей, а в несправедливой торговой системе. Вызовы – это совокупность обстоятельств, не обязательно отрицательных воздействий, на которые необходимо реагировать, и их игнорирование может вызвать положительные или отрицательные последствия; угроза – это воздействие внешней среды, ее субъектов или внутренних элементов системы, которое может привести к убыткам субъекта; риск – наступление субъективных и/или объективных событий в каждом из направлений деятельности вследствие актуализации угроз, которые могут привести к положительным или отрицательным последствиям для и вызвать отклонения от запланированных параметров; опасность – форма проявления угрозы, приводящая к реальным убыткам.

Таким образом, основой повышения экономической безопасности хозяйственной деятельности является формирование и развитие современных технологий, специфическими принципами которых являются комплексность, адаптивность, гибкость, устойчивость, эффективность, надежность и самоорганизация. Системные меры должны быть направлены на достижение или поддержание соответствующего уровня экономической безопасности: обеспечение наилучшего сочетания ресурсов и существующих бизнес-возможностей, выявление и нейтрализацию угроз, нанесение ущерба и восстановление объектов защиты, пострадавших в случае возникновения опасности. Эффективность определяется основными показателями деятельности, стабильностью функционирования; соответствующим уровнем конкурентоспособности; увеличением благосостояния населения; устойчивым инновационным развитием предприятия; гармонизацией социально-экономических интересов [3].

Российская Федерация признала в 2008 году независимость Южной Осетии, что позволяет уже на протяжении более двенадцати лет восстанавливать разрушенную войной экономику и прежде всего сферу жизнеобеспечения. Бесперебойное обеспечение населения коммунальными услугами является приоритетной задачей, и без финансовой и технической поддержки России эта проблема решена быть не может, так как дефицит госбюджета, политическая нестабильность, обострение социальной напряженности в обществе пока еще остаются [4, 5, 6].

2 сентября 2020 г в посольстве Южной Осетии в Москве состоялось подписание Соглашения между правительствами РЮО и РФ о технологическом присоединении объектов электроэнергетической инфраструктуры. Документ стал важной составляющей обеспечения энергетической безопасности и надежного электроснабжения Южной Осетии, и весомым вкладом в развитие российско-югоосетинского сотрудничества в сфере электроэнергетики. Основной целью соглашения является урегулирование вопросов по технологическому присоединению находящегося на территории Южной Осетии участка линии электропередачи 110 кВ к российским электросетям путем прокладки высоковольтной кабельной линии через Рокский тоннель от подстанции 110 кВ Северный портал (Российская Федерация) до переключательного пункта, расположенного у южного портала Рокского тоннеля. Реализация соглашения призвана решить многолетнюю проблему, связанную с перебоями в электроснабжении Южной Осетии, особенно в зимний период.

В соответствии с указом № 134 от 24 апреля 2020 года «Об утверждении схемы и программы развития электроэнергетики Республики Северная Осетия-Алания на 2021...2025 годы» Республики Южная Осетия включена в состав Объединенной энергетической системы Юга и, соответственно, в Единую энергосистему Российской Федерации.

Технологическое присоединение организовано по сети 110 кВ, через электрические сети сопредельных регионов, и входит в операционную зону ответственности Филиала АО «СО ЕЭС»

Проводимая энергетическая политика Россией в отношении Республики Южная Осетия осуществляется в рамках оказания финансовой помощи с целью защиты интересов граждан и развития экономики Республики.

Энергетическая политика затрагивает интересы всех слоев общества, поэтому она должна учитывать краткосрочные и долгосрочные цели государства в политике, экономике, социальном развитии. Работоспособность промышленности и сельского хозяйства, коммунальных служб и инфраструктуры зависит от поставки энергоресурсов в необходимом количестве [7].

При разработке стратегии энергетической политики особое внимание необходимо уделять внутренним резервам, основанным на использовании возобновляемых источников энергии (ВИЭ). Главной экономической задачей при этом является соблюдение профицита бюджета с выделением отдельной защищенной статьи расходов на развитие энергетики, с учетом финансовой помощи со стороны Российской Федерации [8].

Присоединение Крыма к России и отсутствие собственных источников по выработке электроэнергии в Республиках Северная и Южная Осетия являются сверх плановой нагрузкой для Единой энергосистемы России.

Учитывая вышеизложенное, рассмотрим положение дел в энергетическом секторе Республики Южная Осетия (РЮО).

Одной из основных задач является обеспечение Республики электрической энергией, Основными факторами, определяющими стабильное функционирование электроэнергетики, являются показатели надежности передающих и распределяющих сетей, а также технические характеристики стационарных энергетических объектов (табл. 1).

Таблица 1

Технические характеристики электроэнергетической системы Республики Южная Осетия

Наименование районов	Количество пониженных станций с напряжением		Установленная мощность распределительных подстанций МВт	Протяженность высоковольтных линий электропередач с различным напряжением, км		
	110 кВ	35 кВ		ВЛ-110 кВ	ВЛ-35 кВ	ВЛ-10, 6, 0,4 кВ
Цхинвальский	2	4	71,3	77,7	36,0	490,0
Знаурский	0	1	5,0	0,0	21,0	456,0
Дзауский	3	2	49,9	88,4	33,0	597,0
Лениногорский	0	3	9,5	0,0	36,6	506,0
Итого:	5,0	10,0	135,7	166,1	126,6	2 049,0

Приведенные в табл. 1 технические характеристики стали рабочими благодаря завершению строительства линии электропередач через Рукский перевал по единственной ЛЭП «Северный портал – Дзау» протяженностью 39 километров. Это единственный источник электричества для республики. Несколько раз в году население Южной Осетии остается без электричества из-за профилактических ремонтных работ, а также из-за аварий на ЛЭП, причиной которых становятся плохие погодные условия в горах, примером тому послужил февраль-март 2021 года, когда Республика несколько дней оставалась без электроэнергии, это многолетняя проблема, связанная с перебоями в электроснабжении Южной Осетии, особенно в зимний период.

Инвестиции на реализацию данного проекта составили 1,33 миллиарда рублей. Для самой Республики это значительная сумма, которая не может быть освоена без финансовой

поддержки России, коммерческие структуры которой выступили инвесторами. Это значит, что межбюджетные отношения посредством оказания финансовой помощи Российской Федерации Республике Южная Осетия на сегодняшний день не только обеспечивают работоспособность систем жизнеобеспечения, но и являются главным инструментом качества жизни жителей Республики и состояния ее экономики. Для экономического обоснования тарифов за потребленную электроэнергию необходима информация о существующих потребностях в электроэнергии. Предварительные данные, полученные в Министерстве экономики Республики, в части потребности в электроэнергии всеми группами потребителей до 2030 года приведены в табл. 2.

Таблица 2

## Потребность в электроэнергии РЮО до 2030 года

Наименование районов	Установленная мощность, МВт (2013г)	Потребление электроэнергии, МВт				
		2010г	2017г	2025г	2030г*	
					прогноз	доля от установленной мощности, %
Цхинвальский	71,3	13,8	17,4	20,3	22,3	31,3
Знаурский	5,0	1,9	2,4	2,8	3,1	62,0
Дзауский	49,9	2,6	3,3	3,8	4,2	8,5
Лениногорский	9,5	1,9	2,4	2,8	3,1	32,6
Итого:	135,7	20,2	25,5	29,8	32,8	

\*Прогноз потребления электрической энергии до 2030 года рассчитан с учетом увеличения объектов образования и социальной сферы и прироста постоянно проживающего населения.

Прирост потребления электрической энергии по выше указанным направлениям и в целом по Республике к 2030 году не потребует наращивания установленной мощности. Можно считать, что существующие центры питания располагают резервом для обеспечения расчетной мощности при условии определенных затрат на реконструкцию морально и физически устаревшего оборудования, как в энергосистеме напряжений уровня 35 кВ и выше, так и в распределительных сетях 6...10 кВ. Вопросы, которые касаются своевременного обслуживания, регламента и ремонта внутренних (республиканских сетей), включая уличные сети, должны быть в полном объеме профинансированы и заложены в бюджет Республики, с учетом экономического обоснованного тарифа как, для населения, так и для других групп потребителей. К сожалению, этого сегодня нет. Дотации, осуществляемые населению на оплату коммунальных услуг, не позволяют отдельно выделить инвестиционную составляющую на развитие и реконструкцию энергетического хозяйства. Спрогнозированный прирост потребления электрической энергии до 2030 года, полученный расчетным путем, приведен в табл. 3.

Оценивая потребности в электроэнергии с учетом развития экономики и промышленности Республики (без населения и бюджетной сферы), можно сделать вывод о необходимости рассмотрения вопроса о возобновляемых источниках электрической энергии, как минимум в двух районах Южной Осетии [9]. При размещении на территории Республики крупных потребителей электроэнергии, новых промышленных, энергоёмких, предприятий, а также российской военной базы, потребуется строительство новых центров питания напряжением 35 (110) кВ и усиление электросетевого хозяйства и резервных источников на случай аварий в федеральных сетях. Безусловно, альтернатив гидроэнергетике на сегодняшний день исходя из природных условий в Южной Осетии нет.

Стоимость 1-го кВт/час получаемой из РФ электроэнергии в конечном итоге со всеми затратами и с учетом дотаций обходится населению не более чем в 3 руб., что значительно ниже, чем в Республике Северная Осетия, субъекте Российской Федерации.

Таблица 3

Потребность в электроэнергии РЮО с учетом развития экономики  
и местной промышленности до 2030 года

Наименование районов	Установленная мощность в МВт (2013г)	Потребление электроэнергии, МВт		
		2025г	2030г	
			прогноз	Резерв мощностей, МВт
Цхинвальский	71,3	22,0	24,1	47,2
Знаурский	5,0	8,6	8,8	-3,8
Дзауский	49,9	89,4	89,8	-39,9
Лениногорский	9,5	2,8	3,1	6,4
Итого:	135,7	122,8	125,8	

\* Расчет электрических нагрузок выполнен в соответствии с «Инструкцией по проектированию городских электрических сетей» РД 34.20.185-94 с учетом изменений и дополнений, утвержденных приказом Минтопэнерго РФ от 29.06.99 г. № 213.

При этом тарифы будут расти быстрее заработной платы населения. Интересным моментом является то, что электроэнергия российская, а дотации из республиканского бюджета основаны на финансовой помощи России. Казалось, что круг замкнулся и проблема развития энергетического комплекса Республики, как и других отраслей экономики, напрямую зависящих от бесперебойного и качественного получения ресурса, является не выполнимой. Поэтому строительство малых ГЭС на территории Республике имеет самое важное государственное значение для развития жилищно-коммунального хозяйства, всех сфер жизнеобеспечения и экономики в целом [10].

Инвестиционный проект строительства малых ГЭС оценивается в 2,5 миллиарда рублей. Себестоимость выработанной электроэнергии составит в среднем до 80 копеек. За год РЮО оплачивает за электроэнергию более 490 млн руб. При наличии собственной гидроэнергетики РЮО расход в денежном выражении составит 112 млн. руб. в год. Экономия приблизительно – 378 млн руб. Срок окупаемости всех ГЭС в среднем 5 лет.

В случае реализации проекта Республика будет не только полностью гарантированно обеспечена электроэнергией, но и будет иметь излишек, который можно будет реализовывать в соседние республики. При выполнении этой инвестиционной программы Южной Осетии будет обеспечена на 100 % собственной электроэнергией, что приведет к энергетической безопасности и надежному энергоснабжению всех потребителей РЮО.

Примером, доказывающим эффективность малой гидроэнергетики, является проект Зонкарской малой ГЭС, являющейся одним крупнейших гидротехнических сооружений на Кавказе. По предварительным оценкам, расчетная мощность составляет до 8 МВт, что составляет около третьей части потребляемой Республикой мощности [10].

Вышеприведенные экономические показатели основаны на предположении, что в течение расчетного периода строительства (около 4 лет) предприятия будут функционировать штатном режиме с отчислением налогов всех уровней в бюджет Республики. Дополнительными положительными моментами реализации проектов по строительству ГЭС будет появление рабочих мест для местного населения, особенно для молодежи.

Проведенные авторами исследования при поддержке гранта РФФИ «Факторы и механизмы саморазвития молодого государства в условиях экономической изоляции (на примере Республики Южная Осетия)» (грант РФФИ № 20-514-07001), дали возможность на основе экономических и технических показателей сформулировать предложения по развитию энергетического комплекса Республики Южная Осетия исходя из реальной ситуации, тенденций и перспектив развития экономики страны в целом, как финансово независимого государства, в части обеспечения граждан Республики комфортными и безопасными условиями проживания:

1. Учитывая сложные погодные условия в горной местности, возможный обрыв линий электропередач, Республике необходимо иметь дизельные генерирующие устройства для аварийного снабжения электроснабжения всех объектов социальной сферы и ЖКХ. Возможно использование газотурбинных установок, которые положительно показали себя в том числе в Крыму. Это направление предполагает разработку рекомендаций по размещению собственных генерирующих мощностей, подбор типов электростанций с учетом требований покрытия максимума нагрузки в разрезе годового использования.

2. Переход на полную оплату за электрическую энергию для всех групп потребителей, что позволит сформировать экономически обоснованный тариф и выделить из него инвестиционную составляющую, которая позволит реализовывать республиканские программы развития энергетики, проводить плановые ремонты и обслуживания всех сетей.

3. Проектирование объектов малой гидроэнергетики, с учетом эффективного использования произведенной электроэнергии, ее распределения и коммерческого контроля отпущенных ресурсов.

4. Проведение оценки перспективной балансовой ситуации по электроэнергии Республики Южная Осетия на период формирования СиПР Республики, определение приоритетных направлений по строительству, реконструкции, техническому перевооружению и размещению объектов сетевой инфраструктуры и генерирующих мощностей.

5. Разработка предложений по скоординированному развитию объектов генерации (с учетом вывода из эксплуатации) и электросетевых объектов номинальным классом напряжения 110 кВ и выше по энергосистеме Республики Южная Осетия до 2030 года.

6. Важным элементом развития электроэнергетики является организация современных форм удаленного учета потребления электроэнергии, которая позволит обеспечить современный уровень контроля и достичь максимальной собираемости платы за предоставленные услуги. Отсутствие рыночных отношений не позволяет сделать сферу жизнеобеспечения самодостаточной, дотации республиканского бюджета на сегодняшний имеют только одну цель – снизить нагрузку по оплате за жилищно-коммунальные услуги потребляемыми населением.

### **Заключение.**

На основе анализа потребления электрической энергии с учетом прогноза до 2030 года установлено, что увеличение объектов образования и социальной сферы и прироста постоянно проживающего населения не потребует наращивания установленной мощности. Однако перспективная оценка потребностей в электроэнергии с учетом развития экономики и промышленности Республики, показала необходимость рассмотрения вопроса о возобновляемых источниках электрической энергии, как минимум в двух районах Южной Осетии.

Предварительная оценка экономических показателей проектов по строительству малых гидроэлектростанций показывает, что в случае их реализации могут быть обеспечены не только собственные потребности Республики в электроэнергии, но возможна реализация излишков вырабатываемой энергии в соседние регионы.

Сформулированы предложения по развитию энергетического комплекса Республики Южная Осетия, направленные на повышение экономической безопасности.

---

*Статья подготовлена при поддержке гранта РФФИ «Факторы и механизмы саморазвития молодого государства в условиях экономической изоляции (на примере Республики Южная Осетия)» (грант РФФИ № 20-514-07001)*

---

### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. **Гордиенко, Д. В.** Основы экономической безопасности государства: учебно-методическое пособие / Д. В. Гордиенко. – М.: Финансы и статистика: ИНФРА-М, 2009. – 221 с.

2. **Кусков, А. Н.** Взаимосвязь экономической и военной безопасности России / А. Н. Кусков, А. П. Кускова // *Фундаментальные и прикладные научные исследования: актуальные вопросы, достижения и инновации: сборник статей XXIII Международной научно-практической конференции.* – Пенза, 2019. – С.25-27.
3. **Финансовый и инвестиционный анализ:** учебное пособие / Л. В. Минько, Е. М. Королькова, О.В. Коробова, Е. Л. Дмитриева. – Тамбов: Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2017. – Режим доступа: <http://elib.tstu.ru/> - Электронно-библиотечная система ТГТУ.
4. **Плиев, С. М.** Особенности формирования национальной государственности Южной Осетии: автореф. дис. ...к-та полит. наук : 23.00.02 / С. М. Плиев ; Москва.ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов» – М., 2015. – 23 с.
5. **Джигоева, И. К.** Необходимость совершенствования государственного управления республики южная Осетия в период развития трансформационной экономики / И. К. Джигоева // *Вестник Волжского университета им. В.Н. Татищева.* – 2013. – № 1 (27). – С. 35-44.
6. **Джабиев, В. В.** Экономика Республики Южная Осетия: сборник статей / В. В. Джигоева. – Цхинвал: Глобус, 2016. – 292 с.
7. **Гацалова, Л. Б.** Совершенствование механизма реализации социально-экономической политики в условиях приграничных и трансграничных территорий / Л. Б. Гацалова, Т. Э. Кусов, Л. К. Парсиева // *Современные проблемы науки и образования.* – 2014. – № 4. – С. 353.
8. **Онопко, О. В.** Внешняя политика непризнанных и частично признанных государств постсоветского пространства: институциональные основания / О. В. Онопко, В. В. Загородный // *Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. Философия. Политология. Культурология.* – 2018. – Т. 4(70). – № 2. – С. 81-93.
9. **Ушаков, С. В.** Промышленный потенциал Республики Южная Осетия – государство Алания / С. В. Ушаков // *Инновационная наука.* – 2019. – № 9. – С. 54-64.
10. **Кочиева, Ж. Г.** Гидроэнергетика – локомотив социально-экономического развития РЮО / Ж. Г. Кочиева, М. В. Кабисова, П. Г. Кочиев // *Перспективы и особенности интеграционных процессов Северной и Южной Осетии: сборник трудов.* – Владикавказ, 2014. – С.77-82

*Поступила в редакцию 22 марта 2021*

## **ECONOMIC INDICATORS OF ELECTRIC POWER COMPLEX DEVELOPMENT OF THE REPUBLIC OF SOUTH OSSETIA**

**K. N. Savin, A. V. Shelomentsev, V. V. Jabiev, O. V. Korobova**

---

Savin Konstantin Nikolaevich, Dr. Sc. (Economics), Dr. Sc. (Technical), Professor, Honorary Worker of Housing and Utilities of Russia, Honorary Worker of Higher Professional Education of the Russian Federation, President of the Association «Housing and Utilities-68», Tambov, Russia, phone: +7(4752)63-23-75; e-mail: kon-savin@yandex.ru  
Shelomentsev Andrey Gennadevich, Dr. Sc. (Economics), Professor, Head of the Sector of the Institute of Economics of the Ural Branch, Yekaterinburg, Russia, phone: +7(912)6027691; e-mail: a.shelom@yandex.ru  
Jabiev Vyacheslav Vladimirovich, Research Officer, South Ossetian Research Institute named after Zakhar Vaneev under the President of the Republic of South Ossetia, Tskhinval, Republic of South Ossetia, phone: +7(929)805-95-61; e-mail: ir\_les@mail.ru  
Korobova Olga Victorovna, Cand. Sc. (Economics), Associate Professor, Department Management, Tambov State Technical University, Tambov, Russia, phone: +7(4752)63-23-75; e-mail: ovk77@list.ru

---

The article is devoted to the peculiarities of the functioning and development of the energy sector of the Republic of South Ossetia. The main institutional reserves for the development of the industry are analyzed, and measures are proposed to maintain the facilities of the energy complex in its working state, taking into account the financial assistance provided by the Russian Federation. The possibilities of building small hydroelectric power plants that can provide

new enterprises with the necessary energy capacity and act as backup generating electric energy facilities on the territory of the Republic are considered. In addition, the possibilities of selling electricity to the foreign market, taking into account alternative sources of electricity, at a reasonable economic tariff are analyzed. Conclusions are drawn about the main prospects and trends of providing the Republic with electricity, which is the basis of economic security and a key factor of political stability in the region until 2030.

**Keywords:** the Republic of South Ossetia; economy; budget; electric power; housing and communal services; economic security; essential services.

#### REFERENCES

1. **Gordienko D. V.** *Fundamentals of economic security of the state*. Moscow, Finance and Statistics: INFRA-M. 2009. 221 p. (in Russian)
2. **Kuskov A. N., Kuskova A. P.** *Interrelation of economic and military security of Russia*. Penza, Fundamental and applied scientific research: actual issues, achievements and innovations, collection of articles of the XXIII International Scientific and Practical Conference. 2019. Pp. 25-27. (in Russian)
3. **Minko L. V., Korolkova E. M., Korobova O. V., Dmitrieva E. L.** *Financial and investment analysis*. Tambov, Publishing House of FGBOU VPO TSTU. 2017. Access mode <http://elib.tstu.ru/> TSTU Electronic Library System (in Russian)
4. **Pliev S. M.** *Features of the formation of the national statehood of South Ossetia*: abstract. dis. ... k-ta polit. Science: 23.00.02 / S. M. Pliev; Moscow. Friendship University of Russia. Moscow, 2015. - 23 p. (in Russian)
5. **Dzhioeva I. K.** *The need to improve the state administration of the Republic of South Ossetia during the development of the transformational economy*. Bulletin of the V. N. Tatishchev Volga State University. 2013. No. 1(27). Pp. 35-44. (in Russian)
6. **Dzhabiev V. V.** *Economy of the Republic of South Ossetia*. Tskhinval, Globus. 2016. 292 p. (in Russian)
7. **Gatsalova L. B., Kusov T. E., Parsieva L. K.** *Improving the mechanism for implementing socio-economic policy in the conditions of border and trans-border territories*. Modern problems of science and education. 2014. No. 4. Pp. 353.
8. **Onopko O. V., Zagorodny V. V.** *Foreign policy of unrecognized and partially recognized states of the post-Soviet space*. Scientific notes of the Crimean Federal University named after V. I. Vernadsky. Philosophy. Political science. Cultural studies. 2018. Vol. 4(70). No. 2. Pp. 81-93. (in Russian)
9. **Ushakov S. V.** *Industrial potential of the Republic of South Ossetia – the State of Albania*. Innovative science. 2019. No. 9. Pp. 54-64. (in Russian)
10. **Kochieva Zh. G., Kabisova M. V., Kochiev P. G.** *Hydropower-the locomotive of socio-economic development of the RSO*. Vladikavkaz, Prospects and features of the integration processes of North and South Ossetia. 2014. Pp. 77-78. (in Russian)

*Received 22 March 2021*

#### ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

**Савин, К. Н.** Экономические показатели развития электроэнергетического комплекса республики Южная Осетия / К. Н. Савин, А. В. Шеломенцев, В. В. Джабиев, О. В. Коробова // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2021. – № 2(17). – С. 101-108.

#### FOR CITATION:

**Savin K. N., Shelomentsev A. V., Jabiev V. V., Korobova O. V.** *Economic indicators of electric power complex development of the republic of South Ossetia*. Housing and utilities infrastructure. 2021. No. 2(17). Pp. 101-108. (in Russian)

УДК 69.003.13

## ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ КАЛЕНДАРНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ КОМПЛЕКСНОЙ МЕХАНИЗАЦИИ МОНТАЖНЫХ РАБОТ КАРКАСА ЗДАНИЯ

А. С. Шарова, С. И. Вахрушев

Шарова Александра Сергеевна, магистр кафедры строительное производство и геотехника, строительный факультет, ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», Пермь, Российская Федерация, тел.: +7(902)839-72-06; e-mail: shuraaash@mail.ru

Вахрушев Сергей Иванович, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры строительное производство и геотехника, строительный факультет, ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», Пермь, Российская Федерация, тел.: +7(342)219-83-74; e-mail: siv18\_57@mail.ru

Рассматривается организационно-техническая подготовка строительного производства техникой на этапе монтажных работ заданного объекта. Обосновывается эффективность календарного планирования строительства за счет использования оптимизации комплексной механизации. В ходе подбора оптимального комплекса строительных машин на монтаж каркаса здания в условиях полной определенности разрабатывается сетевой граф. Для нахождения наиболее благоприятного варианта событий использованы вычислительные средства. Критерием для решения задачи по оптимизации средств механизации являются удельные приведенные затраты на монтаж одной тонны металлических конструкций. По результатам расчета выявлено оптимальное решение. На основе изучения оптимизации комплексной механизации строительства обсуждается повышение качества выполнения проектных работ при разработке календарного плана.

**Ключевые слова:** оптимизация комплексной механизации; комплекс машин; сетевой граф; метод Дейкстры; удельные приведенные затраты; информационное моделирование.

Качественная проработка календарного планирования строительства создает конкретное представление о строительном производстве, продолжительности выполнения работ, количестве и видах привлекаемых ресурсов [1]. В ходе моделирования календарного плана, в частности, рассматриваются вопросы организационно-технической подготовки строительного производства техникой. Строительная отрасль является одним из основных направлений механизированной сферы человеческой деятельности. Строительные машины и механизмы эксплуатируются на всех этапах возведения объекта.

Повышение эффективности планирования строительства за счет использования оптимизации комплексной механизации приведет к более выгодному выполнению отдельных, взаимно обусловленных работ [2]. Развитие комплексной механизации ориентировано от отдельных видов строительного-монтажных работ до полного строительства заданных объектов. Применение комплексной механизации строительства облегчит разработку календарного плана, ускоряя действие выбора машин и механизмов.

Для достижения требуемого результата в последние годы решаются задачи создания систем, комплексов и комплектов машин с минимальными затратами на выполнение технологических процессов и операций. Решение такой задачи определяет главную направленность улучшения степени механизации всех видов работ строительного производства [3...4].

Технологическая эффективность выбора средств комплексной механизации формируется путем поиска оптимальных вариантов строительных машин. Нахождение наиболее благоприятного варианта производится на основе моделирования всех возможных вариантов комплексов машин с применением современных вычислительных средств.

Комплексная механизация в данной статье характеризуется созданием комплекса

машин для монтажа каркаса здания физкультурно-оздоровительного комплекса г. Орда Пермского края [5].

Организационно технологическая последовательность включает следующие технологические операции:

- 1) раскладка на приобъектном складе металлических конструкций и плит перекрытий;
- 2) монтаж колонн;
- 3) монтаж ригелей, балок;
- 4) монтаж ферм, прогонов, связей жесткости;
- 5) укладка плит перекрытий.

На каждой операции рассматривается по 3 варианта строительных машин.

Так как процесс включает 5 операций и на каждой операции выбрано по 3 варианта средств механизации, общее число вариантов механизации достигает  $3^5=243$  [6, 7]. Выбор оптимального комплекса машин является затруднительной задачей из-за большого числа различных вариантов. Процесс комплектования машин – это сложный неопределенный и неоднозначный процесс [8].

За счет использования комплексной механизации на данном технологическом процессе выявится оптимальный комплекс машин, который обеспечит минимальные приведенные затраты на выполнение строительно-монтажных работ [9].

Комплекс строительных машин состоит из совокупности гармонично работающих и взаимно увязанных по технологическим параметрам разной грузоподъемности стреловых самоходных кранов. Ведущими машинами являются самоходные стреловые краны. Вспомогательными машинами в технологическом процессе на монтаж каркаса здания считаются разгружающие машины (самоходные стреловые краны малой грузоподъемности).

Установление оптимального комплекса машин зависит от обширного ряда факторов. В первую очередь от объема выполнения работ, далее от местоположения проектируемого здания, инфраструктуры вокруг объекта, а также от технологии и организации производства [10].

В качестве монтажных кранов выбраны стреловые самоходные краны, так как здание является малоэтажным с небольшим объемом работ, и вес поднимаемых конструкций не превышает 1,76 т, за исключением железобетонных плит массой 2,96 т.

На первом этапе проводится подготовка, сбор и анализ технико-экономических показателей сравниваемых машин. На втором этапе по выбранному критерию оптимизации средств механизации проводится синтез, моделирование и оптимизация. По окончании принимается оптимальное решение.

Критерий оптимизации для решения задачи в условиях полной определенности соответствует удельным приведенным затратам [11]. Для расчета приведенных затрат использовались основные характеристики машин, необходимые для вычисления показателей: удельные капитальные вложения, сменная выработка, трудоемкость, себестоимость монтажа.

Для перебора всех вариантов (в нашем случае 243 варианта) рекуррентным уравнением с целью оптимизации средств комплексной механизации используют метод сетевого графа Дейкстры.

Функциональное уравнение в методе Дейкстры выглядит следующим образом:

$$Y(I-1, J) = \min[Y(I, K) + C(I, J, K)], \quad (1)$$

где  $Y(I-1, J)$  – минимальные общие затраты для выполнения одной части технологического процесса одной частью комплекса машин, где  $I$  – первая операция производится  $J$ -ой машиной;  $Y(I, K)$  – минимальные общие затраты для выполнения одной части технологического процесса одной частью комплекса машин, где  $I$ -ая операция производится  $J$ -ой машиной;  $C(I, J, K)$  – общие затраты при выполнении  $I$ -ой операции  $J$ -ой машиной после выполнения другой  $K$ -ой машиной предыдущей операции.

В таблице представлены комплексы машин для каждой технологической операции с указанием приведенных затрат на монтаж 1 тонны конструкций.

Приведенные затраты комплексов машин на технологических операциях при монтаже 1 т конструкций

Наименование технологической операции	Марка крана	Приведенные затраты, руб./т
1. Раскладка на приобъектном складе, металлических конструкций и плит перекрытий.	КС-45722	5634
	КС-35714	5854
	КС-4579	4714
2. Монтаж колонн.	КС-45722	2989
	КС-35714	3105
	КС-4579	2501
3. Монтаж ригелей, балок	КС-55729-1В-3	7803
	КС-5576Б-1	5875
	КС-55733-26	6797
4. Монтаж ферм, прогонов, связей жесткости.	КС-65740	18487
	КС-65719-1К	18552
	ЛIEBHERR LTM 1040-2.1	19233
5. Укладка плит перекрытий.	КС-55729-1В-3	1129
	КС-5576Б-1	850
	КС-55733-26	984

Сетевой граф возможных комплектов машин представлен на рис. 1.

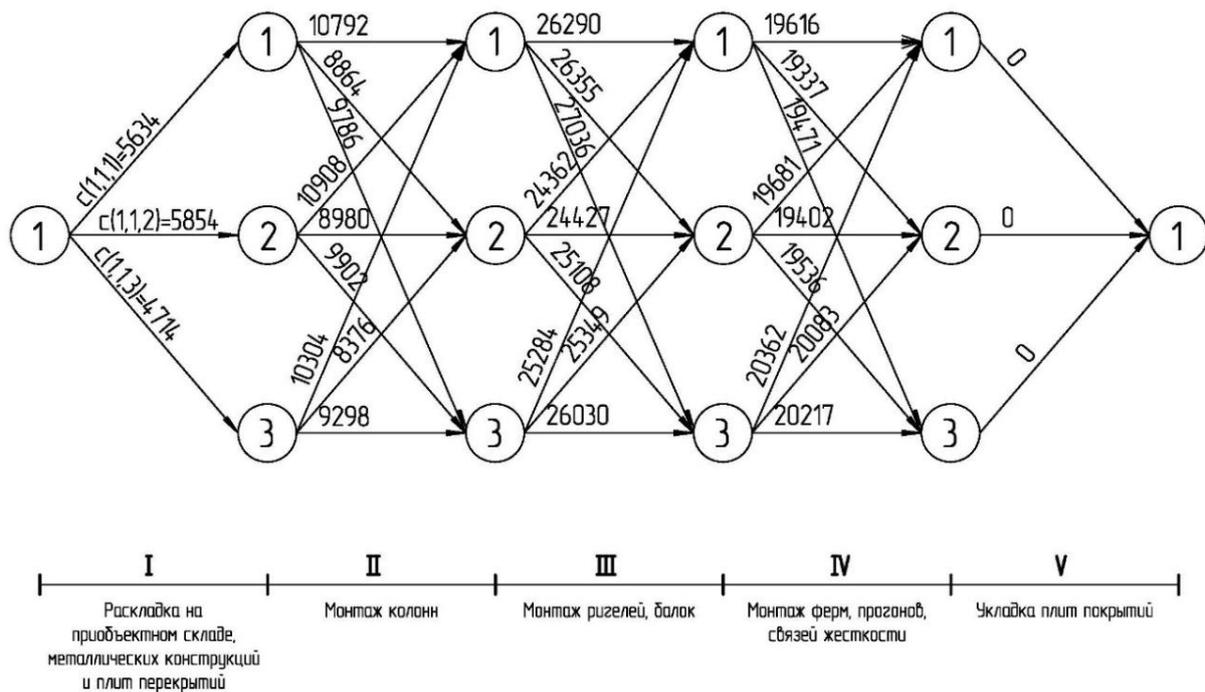


Рис. 1. Сетевой граф возможных комплектов машин

Впервые сетевой граф метода Дейкстры был предложен в статье [12].

Наиболее благоприятный вариант комплекса машин технологического процесса определен с помощью программы для ЭВМ в VBA Microsoft Excel [13].

В итоге оптимальный комплекс машин, для совместного взаимодействия на этапе монтажных работ, включает следующие марки кранов:

1. Автомобильный кран КС-4579 для раскладки на приобъектном складе металлических конструкций и плит перекрытий.
2. Автомобильный кран КС-35714 для монтажа колонн.
3. Автомобильный кран КС-55729-1В-3 для монтажа ригелей и балок.
4. Автомобильный кран КС-65719-1К для монтажа ферм, прогонов, связей жесткости.
5. Автомобильный кран КС-5576Б-1 для укладки плит перекрытий.

По результатам расчета выявлены минимальные затраты для всего технологического процесса, благодаря которым получен оптимальный комплекс машин для монтажа каркаса объекта. Графически результаты изображены на рис. 2. Окончательный вариант комплекса машин выделен толстой линией.

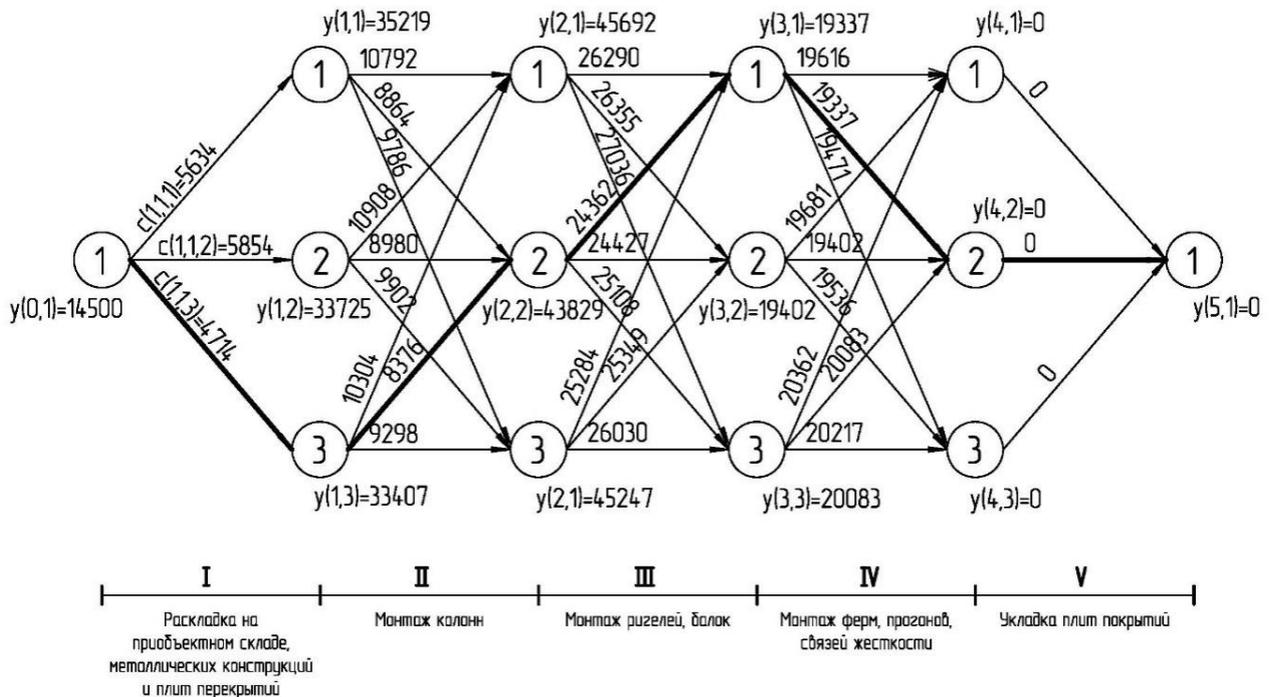


Рис. 2. Оптимальный комплекс строительных машин для монтажных работ

Суммарные приведенные затраты на монтаж 1 т конструкций для данного комплекса машин в соответствии с рис. 2 составили:

$$4714 + 8376 + 24362 + 19337 = 56789 \text{ руб/т.} \quad (2)$$

### Заключение.

Применение критерия удельных приведенных затрат в методе выбора средств комплексной механизации приводит к сокращению расходов, затрачиваемых на строительное производство. При технологии информационного моделирования календарного планирования строительства осуществляется минимизация общих затрат и повышается эффективность формирования комплекта машин.

В разработке календарного плана использование подобных методов технологии информационного моделирования приводит к высокому качеству выполнения работ на стадии проектирования. Информационное моделирование позволяет затрачивать меньше времени на поиск решений.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Сандан, Р. Н.** Календарное планирование СМР на уровне простых технологических процессов / Р. Н. Сандан, М. М. Калюжнюк // Вестник «Технические и физико-математические науки». – 2014. – № 3. – С. 63-78.
2. **Sobotka, A.** Mechanisation and automation technologies development in work at construction sites / A. Sobotka, K. Pacewicz // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2017. – No. 251. – Pp. 1-8. – doi: 10.1088/1757-899X/251/1/012046.
3. **Вахрушев, С. И.** Опыт оптимизации комплекта строительных машин методом Дейкстры на объекте строительства г. Перми / С. И. Вахрушев, Е. О. Треногин // Современные технологии в строительстве. Теория и практика. – 2017. – № 1. – С. 381-387.
4. **Щепин, П. Д.** Выбор оптимального комплекса машин для земляных работ при укреплении участка берега реки Большая Мысья Пермского края / П. Д. Щепин, С. И. Вахрушев // Известия КГАСУ, Технология и организация строительства. – 2020. – № 3(53). – С. 56-64.
5. **Sevryugina N.** Technological machines, construction resources, efficiency and safety / N. Sevryugina, P. Kapurin // МАТЕС Web of Conferences. – Москва, 2018. – С. 1-6.
6. **Абдразаков, Ф. К.** Оптимальное распределение техники – основа стабильного развития производства / Ф. К. Абдразаков, Д. Г. Горюнов // Механизация строительства. – 2004. – № 1. – С. 8-10.
7. **Вайнштейн, М. С.** Оценка эффективности организационно-технологических решений при выборе средств механизации производства строительного-монтажных работ / М. С. Вайнштейн, Б. В. Жадановский, С. А. Синенко, А. А. Афанасьев, А. С. Павлов, А. З. Ефименко, А. И. Долганов // Научное обозрение. – 2015. – № 13. – С. 123-127.
8. **Айдын, Е. В.** Оптимизация парков, комплектов и комплексов строительных машин с учетом надежности их работы / Е. В. Айдын, С. М. Кузнецов, Н. В. Холомеева // Научно-исследовательские публикации. – 2014. – № 3(7). – С. 11-16.
9. **Ямшанова, А. А.** Совершенствование технологии производства земляных работ на основе оптимизации комплекта машин / А. А. Ямшанова, А. С. Ефременко // Молодежный вестник ИрГТУ. – 2018. – № 3. – С. 29-33.
10. **Глухова, Л. Р.** Факторы, влияющие на эффективность работы строительной техники / Л. Р. Глухова, М. А. Фетисова // Молодой ученый. – 2017. – № 15(149). – С. 33-35.
11. **Севрюгина, Н. С.** Методы критериальной оптимизации выбора средств механизации строительных работ / Н. С. Севрюгина // Силовое и энергетическое оборудование. Автономные системы. – 2018. – Т.1. – Вып. 2. – С. 90-100.
12. **Демин, А. А.** Оптимизация комплекта строительных и дорожных машин методом Дейкстры / А. А. Демин, Е. М. Кудрявцев // Вестник МГСУ. – 2011. – № 8. – С. 239-242.
13. **Манасиди, И. И.** Моделирование работы алгоритма Дейкстры для нахождения кратчайшего пути на VBA / И. И. Манасиди, Т. А. Крамаренко // Информационное общество: современное состояние и перспективы развития: сборник материалов XI международного студенческого форума. – Краснодар. – 2018. – С. 346-368.

*Поступила в редакцию 1 марта 2021*

**EFFECTIVENESS EVALUATION IN MODELING TECHNOLOGY  
OF COMPLEX MECHANIZATION SCHEDULING IN ERECTION PROCEDURE  
OF THE BUILDING FRAME**

**A. S. Sharova, S. I. Vakhrushev**

---

Sharova Alexandra Sergeevna, master's student of the Department of Construction Production and Geotechnics, Faculty of Civil Engineering, Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russia, phone: +7(902)839-72-06; e-mail: shuraaash@mail.ru.

Vakhrushev Sergey Ivanovich, Cand. Sc. (Technical), Associate Professor of the Department of Construction Production and Geotechnics, Faculty of Civil Engineering, Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russia, phone: +7(342)219-83-74; e-mail: siv18\_57@mail.ru.

---

This article examines the organizational and technical preparation of construction production by the equipment at the installation stage of the specified object. The efficiency of construction scheduling is substantiated by using the optimization of complex mechanization. In the course of selecting optimal complex of construction machines for the installation of the building frame in conditions of complete certainty, a network graph is developed. To find the most favorable version of events computational tools were used. The criteria for the solution of the problem of optimization of mechanization correspond to the given unit costs for the installation of one ton of steel structures. Based on the results of the calculation, the optimal solution was revealed. On the basis of the study of the complex mechanization optimization of construction, the improvement of the quality of the design work in the development of the schedule is discussed.

**Keywords:** optimization of complex mechanization; complex of machines; network graph; Dijkstra's method; given unit costs; information modeling.

#### REFERENCES

1. **Sandan R. N., Kalyuzhnyuk M. M.** *Construction and installation scheduling at the level of simple technological processes.* Bulletin Technical and physical and mathematical sciences. 2014. No. 3. Pp. 63-78. (in Russian)
2. **Sobotka A., Pacewicz K.** *Mechanisation and automation technologies development in work at construction sites.* IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2017. No. 251. Pp. 1-8. doi: 10.1088/1757-899X/251/1/012046.(in Russian)
3. **Vakhrushev S. I., Trenogin Ye. O.** *Experience of optimization of a set of construction machines by Dijkstra's method at a construction site in Perm.* Modern technologies in construction. Theory and practice. 2017. No. 1. Pp. 381-387. (in Russian)
4. **Shchepin P. D., Vakhrushev S. I.** *Selection of the optimal set of machines for earthworks when strengthening a section of the Bolshaya Mysya river bank of the Perm region.* Izvestia KGASU, Technology and organization of construction. 2020. No. 3(53). Pp. 56-64. (in Russian)
5. **Sevryugina N., Kapyrin P.** *Technological machines, construction resources, efficiency and safety.* MATEC Web of Conferences. Moscow. 2018. Pp 1-6. (in Russian)
6. **Abdrzakov F. K., Goryunov D. G.** *The optimal distribution of equipment is the basis for stable production development.* Mechanization of construction. 2004. No. 1. Pp. 8-10. (in Russian)
7. **Vaynshteyn M. S., Zhadanovskiy B. V., Sinenko S. A., Afanas'yev A. A., Pavlov A. S., Yefimenko A. Z., Dolganov A. I.** *Evaluation of the effectiveness of organizational and technological solutions when choosing the means of mechanization of construction and installation works.* Scientific Review. 2015. No. 13. Pp. 123-127. (in Russian)
8. **Aydyn Ye. V., Kuznetsov S. M., Kholomeyeva N. V.** *Optimization of parks, kits and complexes of construction machines, taking into account the reliability of their work.* Research publications. 2014. No. 3(7). Pp. 11-16. (in Russian)
9. **Yamshanova A. A., Yefremenko A. S.** *Improving the technology of earthworks production based on the optimization of a set of machines.* ISTU Youth Bulletin. 2018. No.3. Pp. 29-33. (in Russian)
10. **Glukhova L. R., Fetisova M. A.** *Factors affecting the efficiency of construction equipment.* Young scientist. 2017. No. 15(149). Pp. 33-35. (in Russian)

11. **Sevryugina N. S.** *Methods of criteria-based optimization of the choice of means of mechanization of construction work.* Power and energy equipment. Autonomous systems. 2018. Vol. 1. Issue. 2. Pp. 90-100. (in Russian)
12. **Demin A. A., Kudryavtsev Ye. M.** *Optimization of a complex of construction and road machines by Dijkstra's method.* MGSU Bulletin. 2011. No. 8. Pp. 239-242. (in Russian)
13. **Manasidi I. I., Kramarenko T. A.** *Simulation of Dijkstra's algorithm for finding the shortest path in VBA.* Information Society: Current State and Development Prospects: Collection of Materials of the XI International Student Forum. Krasnodar. 2018. Pp. 346-368. (in Russian)

*Received 1 March 2021*

**Для цитирования:**

**Шарова, А. С.** Оценка эффективности моделирования календарного планирования комплексной механизации монтажных работ каркаса здания / А. С. Шарова, С. И. Вахрушев // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2021. – № 2(17). – С. 109-115.

**FOR CITATION:**

**Sharova A. S., Vakhrushev S. I.** *Effectiveness evaluation in modeling technology of complex mechanization scheduling in erection procedure of the building frame.* Housing and utilities infrastructure. 2021. No. 2(17). Pp. 109-115. (in Russian)

## ПРАВИЛА НАПИСАНИЯ И ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЕЙ WRITING RULES AND GUIDELINE

Журнал публикует информацию о научно-технических разработках в области строительства и жилищно-коммунального хозяйства. Периодичность издания – 4 раза в год.

Издание включено в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук с 22.12.2020 г.

Статьи в журнале публикуются бесплатно.

Осуществляется подписка на журнал «Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура». Подписной индекс в каталоге агентства «Экономическая газета» – 81025.

Отдельные экземпляры журнала можно приобрести в редакции по адресу: 394006, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, дом 84, ВГТУ, кафедра жилищно-коммунального хозяйства, каб. 1321.

О наличии необходимого номера можно узнать по телефону +7(473)271-28-92 или по e-mail: [vstu.gkh@gmail.com](mailto:vstu.gkh@gmail.com).

Рукопись представляется в редакцию *на русском языке*. В том случае, если зарубежные авторы присылают статьи *на английском языке*, необходимо предоставить *точный перевод на русский язык*.

К публикации принимаются материалы статьи, в которых приводятся результаты собственных научных (теоретических и/или экспериментальных) исследований авторов (кроме обзорных статей), соответствующие по своей тематике профилю и тематическим направлениям журнала.

Материалы статьи принимаются в электронном виде на адрес редакции [vstu.gkh@gmail.com](mailto:vstu.gkh@gmail.com). Автор присылает:

- ✓ файл текста статьи;
- ✓ отсканированная последняя страница с датой отправки статьи и подписями всех авторов (рядом с подписью указывается фамилия и инициалы автора);
- ✓ экспертное заключение о возможности открытого опубликования, заверенное печатью и подписью ответственного лица.

После принятия статьи к публикации автор высылает оригинал рукописи в редакцию журнала по адресу: 394006, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, дом 84, ком. 1321, Воронежский государственный технический университет, кафедра жилищно-коммунального хозяйства.

Об отказе в публикации статьи по формальным признакам авторы информируются редакцией по электронной почте с изложением причины отказа.

### ***Требования к оформлению статьи***

Рукопись должна готовиться в редакторе Microsoft Word для Windows (версии от XP до Word 97/10). Текст набирают шрифтом Times New Roman размером 12 пт с межстрочным интервалом 1, абзацный отступ 1 см. Размер листа А4; поля: левое – 3 см, правое – 1,5 см, верхнее – 2 см, нижнее – 2,5 см. Нумерация страниц не требуется. Объём рукописи – от 5 до 10 страниц, включая иллюстрации, таблицы, библиографический список и сведения об авторах.

Структура статьи:

#### **русскоязычная часть:**

- ✓ **индекс УДК** – в левом верхнем углу, прописными буквами (шрифт 12 пт, обычный);
- ✓ **название статьи** – прописными буквами с выравниванием по центру (шрифт 12 пт, полужирный);
- ✓ **инициалы, фамилии авторов**, с выравниванием по центру (шрифт 12 пт, полужирный);
- ✓ **сведения об авторах**: последовательно для каждого – фамилия, имя, отчество, ученая степень, звания (звания в негосударственных академиях наук и почётные звания не указывать), должность, наименование учреждения, в котором работает автор, город, страна, контактный телефон; e-mail автора, выравнивание по ширине, (шрифт 10 пт, обычный);
- ✓ **аннотация** объёмом от 200 до 250 слов, выравнивание по ширине, отступ слева и справа 1 см (шрифт 11 пт, обычный);

✓ **ключевые слова** от 5 до 12 слов, указывающие на принципиально важные объекты и особенности исследования, отделяются друг от друга точкой с запятой, выравнивание по ширине, (шрифт 10 пт, обычный);

✓ **текст статьи** (в тексте статьи должны быть отражены: актуальность проблемы, оценка степени ее разработанности, цели, задачи и методы решения научной задачи, полученные результаты). В конце статьи обязательно приводится **заключение**.

При оформлении текста статьи следует придерживаться следующих требований:

✓ русские и греческие буквы и индексы, а также цифры, аббревиатуры и стандартные функции (Re, cos и др.) в тексте, формулах, подписях к рисункам и в таблицах набираются прямым шрифтом; латинские буквы – курсивом;

✓ в статье должен быть необходимый минимум формул, которые:

❖ следует набирать шрифтом Times New Roman в редакторе формул MS Equation или MathType;

❖ начинать с красной строки;

❖ располагать по центру и нумеровать арабскими цифрами в скобках у правого края страницы;

❖ ссылки на формулы в тексте – арабскими цифрами в скобках;

✓ рисунки и таблицы должны быть пронумерованы и добавлены в текст после первого упоминания;

✓ до и после рисунка и таблицы необходимо сделать пробел (шрифт 12 пт);

✓ иллюстрации представляются в редакцию

❖ в виде отдельных файлов (рисунков и фотографий), записанных с расширением .TIFF или .JPEG; линии чертежа – не тоньше 1 пт; иллюстрации, в том числе фотографии, должны иметь хорошую проработку деталей;

❖ подписи к рисункам нумеруются и располагаются под ними, выравнивание текста по центру (шрифт 10 пт, обычный), в конце точка не ставится;

✓ таблицы оформляются следующим образом:

❖ шрифт выбирается автором самостоятельно с учетом возможности качественного чтения текста;

❖ наименования в таблицах даются полностью, без сокращения слов;

❖ номер таблицы располагается отдельно, выравнивание текста по правому краю (шрифт 10 пт, обычный);

❖ название таблицы размещается над таблицей, выравнивание текста по центру (шрифт 11 пт, обычный), в конце точка не ставится;

✓ **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**, составляемый по следующим правилам;

❖ список используемой литературы должен включать не менее 10 источников;

❖ шрифт 12 пт, выравнивание текста по ширине, абзацный отступ 1 см;

❖ в список включаются *только опубликованные работы*, в порядке упоминания в статье; ссылки на них в тексте статьи даются арабскими цифрами в квадратных скобках;

❖ в списке не должно быть нормативных документов (ГОСТ, СП, технических регламентов, правовых актов и т.п. неавторизованных источников) – ссылки на них даются в тексте статьи в развернутом виде или в форме подстраничных сносок;

❖ библиографические описания оформляются в соответствии с ГОСТ 7.1-2003; включенные в текст статьи или подстраничные библиографические ссылки следует оформлять по ГОСТ Р 7.0.5-2008;

❖ ссылки на интернет-сайты не допускаются; для статей из зарегистрированных *электронных журналов* указываются фамилии и инициалы авторов, название статьи, название журнала, выходные данные выпуска, адрес сайта журнала и дата обращения к электронному ресурсу;

**англоязычная часть:**

✓ **название статьи;**

✓ **инициалы, фамилии авторов**, выравниванием по центру (шрифт 12 пт, полужирный);

✓ **сведения об авторах** – последовательно для каждого: фамилия, имя, отчество полностью, ученая степень, ученые звания, должность, название организации (учреждения), города, страны, контактный телефон; e-mail автора; выравнивание по ширине, (шрифт 10 пт, обычный);

✓ **аннотация:** перевод, идентичный русскому варианту;

✓ **ключевые слова** (Keywords);

✓ **библиографический список** (REFERENCES).



ISSN 2541-9110



21 >

9 772541 911022