

**ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО  
ИНФРАСТРУКТУРА  
КОММУНИКАЦИИ**

**Выпуск № 2 (7) 2017**

**ПО ВОПРОСАМ РАЗМЕЩЕНИЯ СТАТЬИ  
ОБРАЩАТЬСЯ**

**В РЕДАКЦИЮ НАУЧНОГО ЖУРНАЛА**

АДРЕС РЕДАКЦИИ:

394006 Россия, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84, ком. 2135а;

тел.: +7(473)2-71-53-21;

e-mail: [gik\\_vgasu@mail.ru](mailto:gik_vgasu@mail.ru).

Ознакомиться с *электронной версией журнала* можно на сайте:

[http:// journal-gik.wmsite.ru](http://journal-gik.wmsite.ru)

Ознакомиться с *полнотекстовой версией журнала* можно на сайте  
Российской универсальной научной электронной библиотеки:

<http://www.elibrary.ru>

# ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО ИНФРАСТРУКТУРА КОММУНИКАЦИИ

**№ 2 (7)**

**Май, 2017**

- ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО, ПЛАНИРОВКА СЕЛЬСКИХ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ
- ТЕОРИЯ И ИСТОРИЯ АРХИТЕКТУРЫ, РЕСТАВРАЦИЯ И РЕКОНСТРУКЦИЯ ИСТОРИКО-АРХИТЕКТУРНОГО НАСЛЕДИЯ
- АРХИТЕКТУРА ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ. ТВОРЧЕСКИЕ КОНЦЕПЦИИ АРХИТЕКТУРНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ
- ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ, ВЕНТИЛЯЦИЯ, КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА, ГАЗОСНАБЖЕНИЕ И ОСВЕЩЕНИЕ
- ВОДОСНАБЖЕНИЕ, КАНАЛИЗАЦИЯ, СТРОИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ОХРАНЫ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ
- ПРОЕКТИРОВАНИЕ И СТРОИТЕЛЬСТВО ДОРОГ, МЕТРОПОЛИТЕНОВ, АЭРОДРОМОВ, МОСТОВ И ТРАНСПОРТНЫХ ТОННЕЛЕЙ
- ТЕХНОЛОГИЯ И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА
- СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ
- ОСНОВАНИЯ И ФУНДАМЕНТЫ, ПОДЗЕМНЫЕ СООРУЖЕНИЯ
- ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ СТРОИТЕЛЬСТВА И ГОРОДСКОГО ХОЗЯЙСТВА
- СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ
- СТРОИТЕЛЬСТВО И ЭКСПЛУАТАЦИЯ НЕФТЕГАЗОПРОВОДОВ, БАЗ И ХРАНИЛИЩ
- ПРОЕКТИРОВАНИЕ И СТРОИТЕЛЬСТВО ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СЕТЕЙ
- ПОЖАРНАЯ И ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ (В СТРОИТЕЛЬСТВЕ)

**Воронеж**

ISSN 2413-6751

# **GRADOSTROITELSTVO INFRASTRUKTURA KOMMUNIKATSII**

**№ 2 (7)**

**May, 2017**

- CITY PLANNING, PLANNING OF VILLAGE SETTLEMENTS
- THEORY AND HISTORY OF ARCHITECTURE, RESTORATION AND RECONSTRUCTION OF HISTORICAL AND ARCHITECTURAL HERITAGE
- ARCHITECTURE OF BUILDINGS AND STRUCTURES. CREATIVE CONCEPTIONS OF ARCHITECTURAL ACTIVITY
- HEAT AND GAS SUPPLY, VENTILATION, AIR CONDITIONING, GAS SUPPLY AND ILLUMINATION
- WATER SUPPLY, SEWERAGE, BUILDING CONSTRUCTION OF WATER RESOURCES PROTECTION
- DESIGNING AND CONSTRUCTION OF ROADS, SUBWAYS, AIRFIELDS, BRIDGES AND TRANSPORT TUNNELS
- TECHNOLOGY AND ORGANIZATION OF CONSTRUCTION
- BUILDING STRUCTURES, BUILDINGS AND CONSTRUCTIONS
- ENVIRONMENTAL SAFETY OF CONSTRUCTION AND MUNICIPAL SERVICES
- BUILDING MATERIALS AND PRODUCTS
- CONSTRUCTION AND OPERATION OF OIL AND GAS PIPELINES, DATABASES AND REPOSITORIES
- DESIGNING AND CONSTRUCTION OF ENERGY NETWORKS
- FIRE AND INDUSTRIAL SAFETY (CIVIL ENGINEERING)

**Voronezh**



**ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО  
ИНФРАСТРУКТУРА  
КОММУНИКАЦИИ**

Научный журнал

Издается с 2015 года

Выходит 4 раза в год

**Учредитель и издатель:** Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Воронежский государственный технический университет». Территория распространения - Российская Федерация.

Статьи рецензируются, подвергаются обработке по программе «Антиплагиат» и регистрируются в **Российском индексе научного цитирования**. Перепечатка без разрешения редакции запрещена, ссылки на журнал при цитировании обязательны.

**РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ**

**Председатель:** **Колодяжный С. А.**, ректор,  
Воронежский государственный технический университет

**РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ**

**Главный редактор:** **Мелькумов В. Н.**, д-р техн. наук, проф.,  
Воронежский государственный технический университет

**Заместители  
главного редактора:** **Скляров К. А.**, канд. техн. наук, доц.,  
Воронежский государственный технический университет  
**Чуйкин С. В.**, канд. техн. наук, доц.,  
Воронежский государственный технический университет

**Ответственный  
секретарь:** **Тульская С. Г.**, канд. техн. наук, доц.,  
Воронежский государственный технический университет

**Бондарев Б. А.**, д-р техн. наук, проф., Липецкий государственный технический университет

**Енин А. Е.**, канд. архит. доц., Воронежский государственный технический университет

**Зубков А. Ф.**, д-р техн. наук, проф., Тамбовский государственный технический университет

**Калгин Ю. И.**, д-р техн. наук, проф., Воронежский государственный технический университет

**Капустин П. В.**, канд. арх., доц., Воронежский государственный технический университет

**Кобелев Н. С.**, д-р техн. наук, проф., Юго-западный государственный университет, г. Курск

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

**Кузнецов С. Н.**, д-р техн. наук, доц., Воронежский государственный технический университет

**Кушев Л. А.**, д-р техн. наук, проф., Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

**Леденев В. И.**, д-р техн. наук, проф., Тамбовский государственный технический университет

**Лобода А. В.**, д-р физ.-мат. наук, доц., Воронежский государственный технический университет

**Подольский Вл. П.**, д-р техн. наук, проф., Воронежский государственный технический университет

**Самодурова Т. В.**, д-р техн. наук, проф., Воронежский государственный технический университет

**Чесноков Г. А.**, канд. арх., доц., Воронежский государственный технический университет

**Шубенков М. В.**, д-р арх., проф., Московский архитектурный институт (Государственная академия)

Редактор: *Тульская С. Г.* Дизайн обложки: *Чуйкина А. А.*

Подписано в печать 15.05.2017. Усл. печ. л. 8.60. Формат 60×84/8. Тираж 500 экз. Заказ № 256  
Свидетельство о регистрации ПИ № ФС77-68664.

АДРЕС РЕДАКЦИИ: 394006, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84, ком. 2135а;  
тел.: (473)2-71-53-21; e-mail: gik\_vgasu@mail.ru.

ОТПЕЧАТАНО: Бизнес-Полиграфия, г. Воронеж



**GRADOSTROITELSTVO  
INFRASTRUKTURA  
KOMMUNIKATSII**

Periodical scientific edition

Published since 2015

Comes out 4 times per annum

**Founder and publisher:** Federal State Education Budget Institution of Higher Education «Voronezh State Technical University». The territory of distribution - Russian Federation

The articles are reviewed and processed with the program ANTIPLAGIARISM. Articles are abstracted in **Russian Science Index**. This publication cannot be reprinted without the prior permission of the publisher, references at citing are obligatory.

**EDITORIAL COUNCIL**

**The Head:** **Kolodyazhny S. A.**, rector,  
Voronezh State Technical University

**EDITORIAL BOARD**

**Editor-in-Chief:** **Melkumov V. N.**, D. Sc. in Engineering, Prof.,  
Voronezh State Technical University

**Dep. of the  
Editor-in-Chief:** **Sklyarov K. A.**, PhD. in Engineering, Assoc. Prof.,  
Voronezh State Technical University  
**Chujkin S. V.**, PhD. in Engineering, Assoc. Prof.,  
Voronezh State Technical University

**Executive  
secretary:** **Tulskaya S. G.**, PhD. in Engineering, Assoc. Prof.,  
Voronezh State Technical University

**Bondarev B. A.**, D. Sc. in Engineering, Prof., Lipetsk State Technical University, Russia

**Enin A. E.**, PhD in Architecture., Prof., Voronezh State Technical University, Russia

**Zubkov A. F.**, D. Sc. in Engineering, Prof., Tambov State Technical University, Russia

**Kalgin Y. I.**, D. Sc. in Engineering, Prof., Voronezh State Technical University, Russia

**Kapustin P. V.**, PhD in Architecture, Assoc. Prof., Voronezh State Technical University, Russia

**Kobelev N. S.**, D. Sc. in Engineering, Prof., Southwest State University, Kursk, Russia

**Kozlov V. A.**, D. Sc. in Physics and Mathematics, Assoc. Prof., Voronezh State Technical University, Russia

**Kuznetsov S. N.**, D. Sc. in Engineering., Assoc. Prof., Voronezh State Technical University, Russia

**Kushchev L. A.**, D. Sc. in Engineering, Prof., Belgorod State Technological University named after V. G. Shukhov, Russia

**Ledenyev V. I.**, D. Sc. in Engineering, Prof., Tambov State Technical University, Russia

**Loboda A. V.**, D. Sc. in Physics and Mathematics, Assoc. Prof., Voronezh State Technical University, Russia

**Podolsky V. P.**, D. Sc. in Engineering, Prof., Voronezh State Technical University, Russia

**Samodurov T. V.**, D. Sc. in Engineering, Prof., Voronezh State Technical University, Russia

**Chesnokov G. A.**, PhD. Architecture, Assoc. Prof., Voronezh State Technical University, Russia

**Shubenkov M. V.**, D. Sc. Architecture, Prof., Moscow Architectural Institute, Russia

Editor: *Tulskaya S. G.* Cover design: *Chujkina A. A.*

Signed to print 15.05.2017. Conventional printed sheets 8.60. Format 60×84/8. Circulation 500 copies. Order 256  
Registration certificate ПИ № ФС77-68664.

THE ADDRESS of EDITORIAL OFFICE: 84 20-letiya Oktyabrya str., Voronezh, 394006, Russian Federation  
Tel. / fax: (473)2-71-53-21; e-mail: gik\_vgasu@mail.ru  
PRINTED: Business- printing, Voronezh

© Voronezh State Technical University, 2017

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО, ПЛАНИРОВКА СЕЛЬСКИХ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ</b> .....	9
<i>Бурак Е. Э., Гриева Е. Ю., Фернюк В. Д.</i> Эволюция системы озеленения в г. Воронеж.....	9
<b>ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ, ВЕНТИЛЯЦИЯ, КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА, ГАЗОСНАБЖЕНИЕ И ОСВЕЩЕНИЕ</b> .....	15
<i>Чуйкин С. В., Тульская С. Г., Склярков К. А., Благовестная Е. О.</i> Математическое моделирование потоков воздуха в помещении при организации вытесняющей вентиляции.....	15
<i>Колосова Н. В.</i> Методика расчета противодымной вытяжной вентиляции.....	21
<i>Кумицкий Б. М., Саврасова Н. А., Черников А. А.</i> Распределение температуры в процессе остывания однородного полупространства.....	28
<i>Чудинов Д. М., Боева А. С., Бобина Н. С., Сокур Е. Г.</i> Уровень развития ветроэнергетики в мире.....	34
<b>СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ</b> .....	40
<i>Галета М. Е., Попова Н. М.</i> Строительство домов из структурных изолированных панелей.....	40
<i>Ермаков Н. О., Новиков М. В.</i> Обеспечение энергоэффективности при реконструкции жилых домов .....	46
<i>Буравлева К. Г., Буравлев А. Н., Гурова Т. В.</i> Современные конструкции защиты грунтовых откосов инженерных сооружений от размыва.....	51
<b>СТРОИТЕЛЬСТВО И ЭКСПЛУАТАЦИЯ НЕФТЕГАЗОПРОВОДОВ, БАЗ И ХРАНИЛИЩ</b> .....	59
<i>Кузнецова Г. А., Островская М. М.</i> Анализ перспективных способов прокладки магистральных газопроводов в болотистой местности.....	59
<i>Русанов Н. А., Китаев Д. Н.</i> Расчет времени самотечного слива светлых нефтепродуктов на автозаправочных станциях.....	66
<b>ПРАВИЛА НАПИСАНИЯ И ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЕЙ</b> .....	73

## CONTENTS

<b>CITY PLANNING, PLANNING OF VILLAGE SETTLEMENTS.....</b>	<b>9</b>
<i>Burak E. E., Grieva E. Y., Fernyuk V. D.</i>	
Panting system evolution in the city of Voronezh.....	9
<b>HEAT AND GAS SUPPLY, VENTILATION, AIR CONDITIONING, GAS SUPPLY AND ILLUMINATION.....</b>	<b>15</b>
<i>Chuikin S. V., Tulsakaya S. G., Sklyarov K. A., Blagovestnaya E. O.</i>	
Mathematical modelling of air flows in the room during the organization of displacement ventilation.....	15
<i>Kolosova N. I.</i>	
Methodology of calculating anti-air exhaust ventilation .....	21
<i>Kumitsky B. M., Savrasova N. A., Chernikov A. A.</i>	
Distribution of temperature in the process of washing homogeneous half-space.....	28
<i>Chudinov D. M., Boeva A. S., Bobina N. S., Sokur E. G.</i>	
Development of wind energy in the world .....	34
<b>TECHNOLOGY AND ORGANIZATION OF CONSTRUCTION.....</b>	<b>40</b>
<i>Galeta M. E., Popova N. M.</i>	
Building houses out of structural insulated panels.....	40
<i>Ermakov N. O., Novikov M. V.</i>	
Energy efficiency support for reconstruction of house.....	46
<i>Buravleva K. G., Buravlev A. N., Gurov T. V.</i>	
Savings resources construction protection from wash out.....	51
<b>CONSTRUCTION AND OPERATION OF OIL AND GAS PIPELINES, DATABASES AND REPOSITORIES.....</b>	<b>59</b>
<i>Kuznetsova G. A., Ostrovskaya M. M.</i>	
Analysis of perspective methods of gaskets gas pipelines in the molecular location.....	59
<i>Rusanov N. A., Kitaev D. N.</i>	
Calculation of the time of the selfdraining of light oil products at the refueling stations.....	66
<b>RULES OF PREPARATION OF ARTICLES .....</b>	<b>73</b>



## ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО, ПЛАНИРОВКА СЕЛЬСКИХ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ

УДК 712.4

### ЭВОЛЮЦИЯ СИСТЕМЫ ОЗЕЛЕНЕНИЯ В Г. ВОРОНЕЖ

Е. Э. Бурак, Е. Ю. Гриева, В. Д. Фернюк

*Воронежский государственный технический университет*

*Е. Э. Бурак, канд. техн. наук, доц. кафедры жилищно-коммунального хозяйства  
Россия, г. Воронеж, тел.: +7-903-854-56-63, e-mail: burak.e@mail.ru*

*Е. Ю. Гриева, студент кафедры жилищно-коммунального хозяйства  
Россия, г. Воронеж, тел.: +7-980-541-11-40, e-mail: vgasu.gkh@gmail.com*

*В. Д. Фернюк студент кафедры жилищно-коммунального хозяйства  
Россия, г. Воронеж, тел.: +7-980-554-10-88, e-mail: fernyuk@gmail.com*

**Постановка задачи.** Рассмотрение системы развития озеленения в г. Воронеже, застройки некоторых парков и скверов в городе. Оценка нехватки зеленых насаждений в новых жилых кварталах и состояние существующего озеленения.

**Результаты.** По результатам анализа выявлено уменьшение размеров зеленых мест в городе, из-за их застройки зданиями и сооружениями, ухудшение состояния древесных и кустарниковых насаждений.

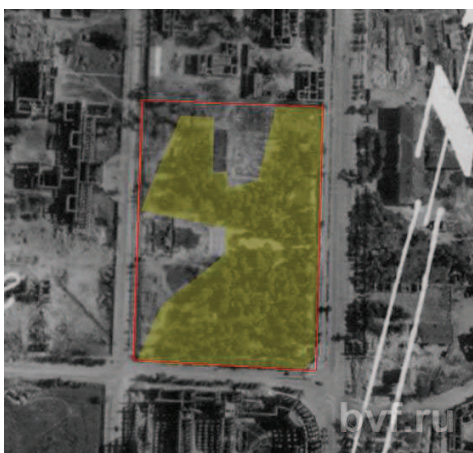
**Выводы.** Предлагается обратить внимание на необходимость восстановления запущенных парков и скверов, а также на озеленение дворовых территорий новых строящихся жилых домов и комплексов.

**Ключевые слова:** озеленение, город, парки и скверы, городская среда, здоровье человека.

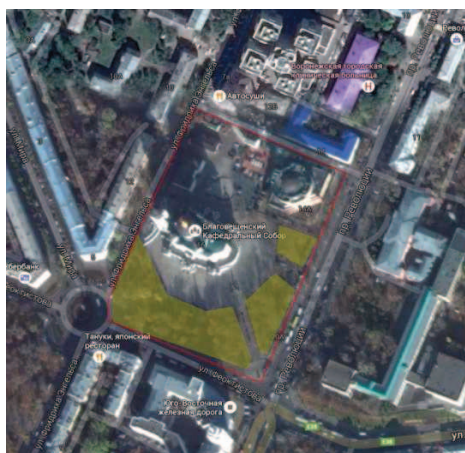
**Введение.** Воронеж – административный, культурный и экономический центр области, расположенный в Центральном федеральном округе Российской Федерации на реке Воронеж [1]. Воронеж ведет свою историю с 1586 года. Известно, что первоначально Воронеж был с трех сторон (кроме восточной) окружен лесами, а в самом городе и в городском посаде зеленых насаждений практически не было. К концу XVIII века Воронеж простирался на четыре версты вдоль правого берега одноименной реки, в нем было более 15000 жителей и 3200 домов, которые стояли не вплотную друг к другу, а чередовались посадками деревьев [1]. К тому времени фруктовые сады занимали в городе целые кварталы. Озеленение города играло важную роль на протяжении всей истории существования города. Сады и парки Воронежа имеют свою долгую историю развития. Парковый массив непрерывно проходил через весь город [1]. В городские парки естественным образом входили сады.

**1. Анализ эволюции озеленения парков и скверов.** Самым крупным садом внутри города был Городской сад (Первомайский сад), располагавшийся между проспектом Революции, улицами Фридриха Энгельса и Феоктистова и устроенный в конце 1840-х г. как городской сад. Он был крайне популярен среди воронежцев, потому что здесь можно было увлекательно провести досуг в любое время года: каждый сезон имел свои преимущества. В дни войны сад сильно пострадал от бомбежки. В послевоенный период сад переживал второе рождение и пользовался большим интересом у местных горожан. Сейчас на большей части

территории Первомайского сада располагается Благовещенский собор, а самого сада как такового не осталось (Рисунок 1 и 2).



**Рис. 1.** Площадь зеленых насаждений до строительства собора (bvf.ru)



**Рис. 2.** Площадь зеленых насаждений после строительства собора (google.ru)

Один из самых старых парков – нынешний район стадиона «Динамо». В 1844 году в нем был заложен питомник, в котором выращивались саженцы для садов и парков города. Сегодня он носит название Центрального парка культуры и отдыха г. Воронежа. Во время Великой Отечественной войны он сильно пострадал, но некоторые древесно-кустарниковые породы сохранились. Когда готовили развязку для Северного моста, в 1986 году парк сильно затопило. Долгое время он находился в заброшенном состоянии. К 2016 году парк полностью восстановлен и сдан в эксплуатацию. «Динамо» – один из немногих образцовых парков в г. Воронеж.

В 1975 году шло благоустройство новых набережных, и на Левом берегу было решено создать парк – «Дельфин». Среди сосен были проложены дорожки, установлены аттракционы и детские площадки [2]. К 2000-му году территория стала стремительно приходить в запустение, аттракционы убраны. В 2006 году на его площади был построен торговый центр. В 2007 году около парка возведено 4-этажное здание налоговой инспекции района, в 2011 в «Дельфине» открылся аквапарк. С сентября 2011 на территории парка строительная компания «Выбор» занимается строительством жилого комплекса «Дельфин». Все сосны на этой территории были вырублены. Весной 2014 г. был вырублен сосновый участок около бывшего надувного манежа, на его месте построен бассейн ВВАИУ. На рисунках 3 и 4 наглядно показано, как в разы уменьшилась территория парка.

Новая застройка в Коминтерновском районе последнее время приобрела стремительный характер. Застройщики возводят многоэтажные дома и многочисленные парковки возле них, совсем забывая про озеленение. В новом районе на улице Шишкова деревья можно «по пальцам пересчитать», особенно актуально сейчас стоит вопрос о строительстве в Яблоневом саду. Застройщики не стремятся создать благоприятный, комфортабельный и красивый квартал для жителей. Современные дворы не достаточно удобны для проживающих, они в большей степени заставлены автомобилями. Северный район уже в достаточной мере высокоэтажный, а проблема с рекреационными зонами не решена. Яблоневый сад, олицетворяющий собой легкие этого района, является единственным местом для жителей близлежащих домов, где они могут гулять и наслаждаться природой.

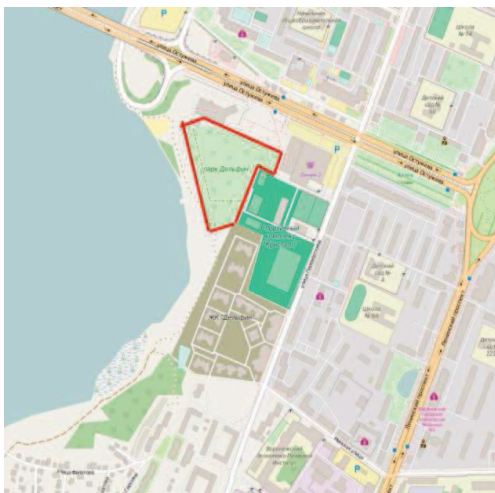


Рис. 3. Территория парка «Дельфин» в настоящее время (u-karty.ru)

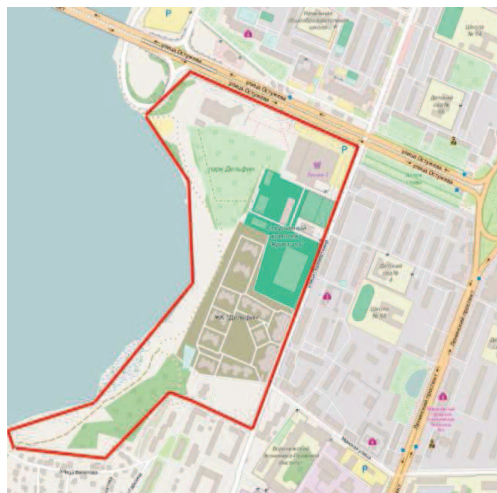


Рис. 4. Границы территории парка «Дельфин» до начала его застройки (u-karty.ru)

Да и не только в Коминтерновском районе не хватает озеленения. Современная микро-районная застройка слабо озеленена. В основном это газоны и редко попадающиеся деревья. Во дворах жилых домов все больше парковок для автотранспорта, а рядом с детскими площадками практически нет затеняющей растительности.

**2. Анализ сложившейся ситуации.** Минимальная норма озеленения, которая прописана в нормативных документах, выпускаемых в послевоенное время, сократилась в 2 раза с 1958 года. С выпуском более новых и актуализированных документов по планировке и застройке, это норма сокращалась и сокращалась. Как видно на графике, она постепенно сократилась с  $12 \text{ м}^2/\text{чел}$  до  $6 \text{ м}^2/\text{чел}$ .

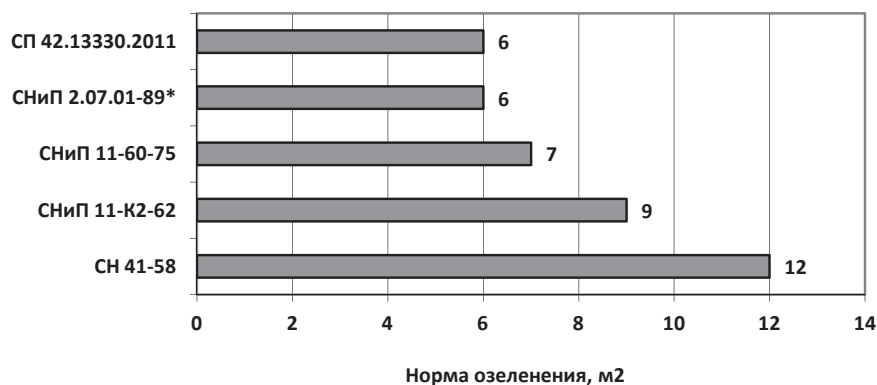


Рис. 5. Сравнение нормы озеленения на одного человека в  $\text{м}^2$ , согласно нормативных документов разных лет

На современном этапе развития в Воронеже практически отсутствует единая система озеленения, объекты распределены хаотично по городу, нет четкой структуры. С развитием строительства зеленые насаждения мозаично распределяются среди застройки, а исторические парки и скверы нуждаются в реконструкции.

В настоящее время темпы проектирования и реконструкции зеленых зон Воронежа значительно отстают от темпов жилищного строительства. Наблюдается значительная не-

хватка благоустроенных и озелененных мест отдыха населения города. В последнее десятилетие фигурирует тот факт, что, к примеру, площадь внутригородских зеленых насаждений в центральной части города по приблизительным подсчетам уменьшилась в 6 раз. Проблему нехватки обеспечения зелеными массивами решили с помощью присоединения к черте города окрестных массивов, которые непосредственно граничат с близлежащими городскими микрорайонами, за счет чего обеспеченность на одного жителя площадью зеленых насаждений повысилась с 5,2 до 10,0 м<sup>2</sup> [3].

Центральный район города Воронежа является самым озелененным (20,5 м<sup>2</sup>/чел), а Коминтерновский район наоборот менее озелененным (1,9 м<sup>2</sup>/чел). Данные сравнение приведены на рисунке 6. Норма зеленых насаждений общего пользования составляет 6 м<sup>2</sup>/чел.



Рис. 6. Площадь зеленых насаждений в м<sup>2</sup> на 1 чел. в разных районах города

Уличное озеленение не соответствует современным нормативам, за исключением бульваров (Победы) и озеленения некоторых улиц (Героев Сибирияков, проспект Патриотов). Посадки послевоенных лет нуждаются в омолаживающей и санитарной обрезке. В условиях засушливых лет (2010-2012 гг.) при отсутствии орошения наблюдается убыль древесных растений в озеленении. Состояние городских зеленых насаждений следует считать неудовлетворительным. До 55 % растений подвержены усыханию и болезням (гнили). Причинами низкого качества зеленых насаждений являются возраст (более 50 лет), неудовлетворительный уход, заражение вредителями и болезнями, высокая антропогенная нагрузка (механические повреждения) [4].

Наибольший процент деревьев и кустарников, произрастающих в насаждениях парков (Орленок, Алые паруса, Дельфин, Танаис, ЦПКиО) относится к категориям - хорошее и удовлетворительное состояние. В парке «Дельфин» 20 % растений отнесено к категории «неудовлетворительной». Наилучшее состояние древесных насаждений отмечено в парке «Танаис» [4].

Для решения существующих проблем, связанных с необходимостью формирования системы озеленения Воронежа необходимо проведение ряда мероприятий с учетом экологических, экономических и социальных факторов. Правовое регулирование природоохранной деятельности в городе осуществляется на основании нормативных документов и региональных поправок, принятых по инициативе Управления по охране окружающей среды [4]. К сожалению, озеленение сводится к благоустройству и реконструкции существующих зеленых насаждений. Ежегодные посадки почти не ведутся. Наблюдается повсеместное сокращение зеленых зон за счет строительства коттеджей, автостоянок, особенно в центральной части города.

Существует прямая зависимость между уменьшением площади озеленения и ростом загрязнения окружающей среды, которое влияет на здоровье человека (в первую очередь ослабленных и ранимых групп населения – детей, беременных женщин, больных), состояние растительного покрова, климат нашей планеты.

Ущерб здоровью населения является самым грозным последствием загрязнения воздуха городов. В условиях загрязненного воздуха наблюдается повышенная заболеваемость и смертность от сердечно-сосудистых заболеваний по сравнению с местностями с чистым воздухом, возрастает число случаев бронхиальной астмы, злокачественных и наследственных заболеваний, мертворождаемости, нарушения репродуктивной функции, болезни крови, глаз, верхних дыхательных путей, уха, кожи и подкожной клетчатки. Загрязненный воздух является одной из причин возникновения аллергических реакций.

**Вывод.** Зеленые насаждения в условиях города выполняют эстетические и оздоровительные функции. Они создают воздушные коридоры из пригородных лесов и водоемов, улучшают микроклимат города, снижают запыленность и загазованность воздуха, уменьшают уровень шума, защищают от ветров и благотворно влияют на нервную систему. Уменьшение площади озеленения препятствует благоприятному развитию и жизнедеятельности человека и животных [4–9]. В городе Воронеже наблюдается деградация существующей системы озеленения. Зеленых насаждений в новых и строящихся жилых кварталах не хватает, их скудное количество не может полноценно справиться со всеми загрязнителями атмосферы. Несмотря на возросший интерес властей к восстановлению заброшенных городских парков и скверов, необходимо обратить внимание на озеленение в новых дворах жилых домов, увеличение количества растительности по всему городу, уход за существующими посадками, их сезонной обрезке.

#### Библиографический список

1. **Разинкова, А. К.** История развития и видовое разнообразие системы озеленения г. Воронежа - Научный журнал КубГАУ. – №102(08). – 2014 г.
2. «Дельфин» парк [Электронный ресурс] Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Дельфин\\_\(парк\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/Дельфин_(парк)) – Рус. 03.2016
3. **Разинкова, А. К.** Перспективы применения древесных видов в озеленении на основе сравнительной оценки их патологического состояния (на примере г. Воронежа).- Волгоград, 2015. – 230 с.
4. **Кругляк, В. В.** Адаптивные системы озеленения населенных пунктов Центрального Черноземья.- Воронеж, 2013. –367 с.
5. **Мелькумов, В. Н.** Моделирование структуры инженерных сетей при территориальном планировании города / В. Н. Мелькумов, С. В. Чуйкин, А. М. Папшицкий, К. А. Скляр // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. – 2015. – № 2 (38). – С. 41-48.
6. **Мелькумов, В. Н.** Территориальное планирование рекреационной зоны района жилой застройки / В. Н. Мелькумов, С. В. Чуйкин, А. А. Мельникова // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. – 2015. – № 3 (39). – С. 113-121.
7. **Семенов, В. Н.** Перспективы развития регионального жилищного строительства на примере Воронежской области / В. Н. Семенов, В.И. Астанин, А. С. Овсянников, И. И. Акулова, М. А. Оськин, Д. Н. Китаев, Н. А. Анисимова, Д. И. Емельянов, А. В. Воротынцева, А. М. Карташова // коллективная монография / под общей редакцией В. Н. Семенова. – Воронеж, 2011.
8. **Mel'kumov, V. N.** Dynamics of air flow and temperature field formation in premise. Scientific herald of the Voronezh state university of architecture and civil engineering / V. N. Mel'kumov, S. N. Kuznetsov // Construction. Architecture. Transport. – 2009. – № 1. – С. 25.
9. **Колосов, А. И.** Математическое моделирование процесса реструктуризации городских систем газоснабжения низкой ступени давления / А. И. Колосов, М. Я. Панов // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. – 2013. – № 2 (30). – С. 34-41.
10. **Тульская, С. Г.** Формирование городской территории при градостроительном проектировании / С. Г. Тульская, А. А. Чуйкина // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. – 2016. – № 1(1). – С.9-20.

## References

1. **Razinkova, A. K.** Istorija razvitija i vidovoe raznoobrazie sistemy ozelenenija g. Voronezha - Nauchnyj zhurnal KubGAU. – №102(08) – 2014 g.
2. «Del'fin» park [Elektronnyj resurs] Rezhim dostupa: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Del'fin\\_\(park\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/Del'fin_(park)) – Rus. 03.2016
3. **Razinkova, A. K.** Perspektivy primeneniya drevesnyh vidov v ozelenenii na osnove sravnitel'noj ocenki ih patologicheskogo sostojanija (na primere g. Voronezha).- Volgograd, 2015. – 230 s.
4. **Krugljak, V. V.** Adaptivnye sistemy ozelenenija naselennyh punktov Central'nogo Chernozem'ja.- Voronezh, 2013. –367 s.
5. **Mel'kumov, V. N.** Modelirovanie struktury inzhenernyh setej pri territorial'nom planirovanii goroda / V. N. Mel'kumov, S. V. Chujkin, A. M. Papshickij, K. A. Skljarov // Nauchnyj vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Stroitel'stvo i arhitektura. – 2015. – № 2 (38). – S. 41-48.
6. **Mel'kumov, V. N.** Territorial'noe planirovanie rekreacionnoj zony rajona zhiloj zastrojki / V. N. Mel'kumov, S. V. Chujkin, A. A. Mel'nikova // Nauchnyj vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Stroitel'stvo i arhitektura. – 2015. – № 3 (39). – S. 113-121.
7. **Semenov, V. N.** Perspektivy razvitija regional'nogo zhilishhnogo stroitel'stva na primere Voronezhskoj oblasti / V. N. Semenov, V.I. Astanin, A. S. Ovsjannikov, I. I. Akulova, M. A. Os'kin, D. N. Kitaev, N. A. Anisimova, D. I. Emel'janov, A. V. Vorotyneva, A. M. Kartashova // kollektivnaja monografija / pod obshhej redakciej V. N. Semenova. – Voronezh, 2011.
8. **Mel'kumov, V. N.** Dynamics of air flow and temperature field formation in premise. Scientific herald of the Voronezh state university of architecture and civil engineering / V. N. Mel'kumov, S. N. Kuznetsov // Construction. Architecture. Transport. – 2009. – № 1. – S. 25.
9. **Kolosov, A. I.** Matematicheskoe modelirovanie processa restrukturizacii gorodskih sistem gazo-snabzhenija nizkoj stupeni davlenija / A. I. Kolosov, M. Ja. Panov // Nauchnyj vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Stroitel'stvo i arhitektura. – 2013. – № 2 (30). – S. 34-41.
10. **Tul'skaja, S. G.** Formirovanie gorodskoj territorii pri gradostroitel'nom proektirovanii / S. G. Tul'skaja, A. A. Chujkina // Gradostroitel'stvo. Infrastruktura. Kommunikacii. – 2016. – № 1(1). – S.9-20.

## PLANTING SYSTEM EVOLUTION IN THE CITY OF VORONEZH

E. E. Burak, E. Y. Grieva, V. D. Fernyuk

---

*Voronezh State Technical University*

*E. E. Burak, PhD in Engineering, Assoc. Prof. of Dept. City planning and economy*

*Russia, Voronezh, tel.: +7-903-854-56-63, e-mail: burak.e@mail.ru*

*E. Y. Grieva, student of the Department of City planning and economy*

*Russia, Voronezh, tel.: +7-980-541-11-40, e-mail: vgasu.gkh@gmail.com*

*V. D. Fernyuk, student of the Department of City planning and economy*

*Russia, Voronezh, tel.: +7-980-554-10-88, e-mail: fernyuk@gmail.com*

---

**Statement of problem.** Planting developing system consideration in the city of Voronezh, the city's square and park housing. Greenery shortage assessment in new residential areas and assessment of existing planting condition.

**Results** According to the analysis deterioration of tree and shrub planting condition and green space size reduction has been identified in the city on account of buildings and structures construction.

**Conclusions.** Reference is made to the need to park and square restoration as well as to planting of greenery in courtyards of new residential buildings and estates under construction.

**Keywords:** planting, city, parks and squares, urban realm, human health.

*Для цитирования: Бурак, Е. Э. Эволюция системы озеленения в г. Воронеж / Е. Э. Бурак, Е. Ю. Гриева, В. Д. Фернюк // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. – 2017. – № 2 (7). – С. 9-14.*

*For citation: Burak, E. E. Planting system evolution in the city of Voronezh / Burak E. E., Grieva E. Y., Fernyuk V. D. // Gradostroitel'stvo. Infrastruktura. Kommunikatsii. – 2017. – № 2 (7). – Pp. 9-14.*

## ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ, ВЕНТИЛЯЦИЯ, КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА, ГАЗОСНАБЖЕНИЕ И ОСВЕЩЕНИЕ

УДК 697.9

### МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОТОКОВ ВОЗДУХА В ПОМЕЩЕНИИ ПРИ ОРГАНИЗАЦИИ ВЫТЕСНЯЮЩЕЙ ВЕНТИЛЯЦИИ

С. В. Чуйкин, С. Г. Тульская, К. А. Складаров, Е. О. Благовестная

*Воронежский государственный технический университет*

*С. В. Чуйкин, канд. техн. наук доцент кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела  
Россия, г. Воронеж, тел.: +7(473)271-53-21, e-mail: ser.chu@mail.ru*

*С. Г. Тульская, канд. техн. наук доцент кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела  
Россия, г. Воронеж, тел.: +7(473)271-53-21, e-mail: tcdtnkfj2014@ya.ru*

*К. А. Складаров, канд. техн. наук, доцент кафедры пожарной и промышленной безопасности  
Россия, г. Воронеж, тел.: +7(473)271-53-21, e-mail: fisis@vgasu.vrn.ru*

*Е. О. Благовестная, ассистент кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела  
Россия, г. Воронеж, тел.: +7(473)271-53-21, e-mail: katek123@inbox.ru*

**Постановка задачи.** Ужесточение требований к точности аэродинамических расчетов систем вентиляции помещений приводит к необходимости применения методов, основывающихся на математическом моделировании. Наиболее распространенные методы, основывающиеся на решении уравнений гидрогазодинамики, предполагают значительные объемы компьютерных вычислений, что влияет на точность результата расчета. По этой причине представляется актуальным разработка максимально приближенных к аналитическим методам моделей распределения потоков воздуха в помещении.

**Результаты.** Предлагаемая модель, основывающаяся на применении симметрий прямоугольных фигур и свойствах эллиптического интеграла и обратной к нему функции.

**Выводы.** Сохраняет высокую точность при численном изучении модели вследствие использования только одной функции.

**Ключевые слова:** вытесняющая вентиляция, конформные отображения, математическое моделирование, воздушные потоки, линии тока.

**Введение.** Для обеспечения требуемых параметров микроклимата в общественных и промышленных помещениях, все большее распространение получает вытесняющая вентиляция. Доказано, что вытесняющая вентиляция имеет ряд преимуществ по сравнению с перемешивающей. Главным принципом этого способа воздухораспределения является равномерная подача и удаление воздуха с низкими скоростями [1, 2]. Основной проблемой при проектировании вытесняющей вентиляции является сложная конфигурация помещений. В результате необходимо точное определение положения линий тока воздуха, его скорости и направления. Для решения данной задачи широкое распространение получило математическое моделирование [1-8], которое является наиболее перспективным методом исследования микроклиматических параметров, влияющих на требования к внутреннему воздуху помещений.

Оно позволяет сравнительно оперативно получать точные решения многомерных задач, а также выявлять влияние на такие решения переменных теплофизических характеристик и граничных условий.

Для построения скоростных полей воздушных потоков, как правило, используются численные методы моделирования, подробно рассмотренные в работе [5], исследование которых предполагает значительные объемы компьютерных вычислений. Погрешности таких вычислений также могут повлиять как на точность окончательной картины линий тока, так и на ее качественный характер в целом [1]. Как правило, используемые в данном случае математические модели изучаются с помощью численных методов. В связи с этим представляется актуальной разработка таких моделей, которые будут максимально приближены к аналитическим решениям.

**1. Постановка задачи математического моделирования.** Широкое распространение в математической физике при решении задач аэродинамики малых скоростей, к которым относятся задачи вентиляции, получили конформные отображения. Основной областью приложения этих отображений является расчет плоского гармонического векторного поля, вектор которого параллелен некоторой плоскости. Причем, его величина и направление одинаковы во всех точках любой прямой, перпендикулярной этой плоскости [1, 2]. Из-за характерных свойств применяемой конформных отображений, построение линий тока воздуха необходимо осуществлять двумерно, а помещения рассматривать как прямоугольники со сторонами, параллельными осям координат [1-6]. Поскольку в большинстве вентилируемых помещений имеются различные преграды для движения воздуха, при составлении модели, необходимо задаться допущением, согласно которому воздух распространяется симметрично относительно преодолеваемых преград. Благодаря этому допущению исходные фигуры могут быть упрощены, причем, даже самые сложные конфигурации помещений можно свести к элементарному прямоугольнику. В качестве примера помещения с преградами можно рассмотреть помещение с одной или несколькими перегородками в плане. В данном случае алгоритм расчета будет различаться числом проводимых упрощений. Так, например, в помещении с тремя перегородками, по отношению с помещением с одной перегородкой, количество преобразований увеличивается в два раза, это связано с необходимостью упрощения фигуру путем повторного применения принципа симметрии.

**2. Алгоритм расчета линий тока воздуха и поля скоростей.** Построение линий тока в помещении с тремя перегородками начинают с определения конформного отображение  $\Pi$  исходного прямоугольника с помещениями 1-4, на некоторый другой прямоугольник так, чтобы верхняя горизонтальная и нижняя ломаная стороны фигуры  $EGHI$  перешли, соответственно в верхнюю и нижнюю горизонтальные стороны нового прямоугольника (рис. 1).

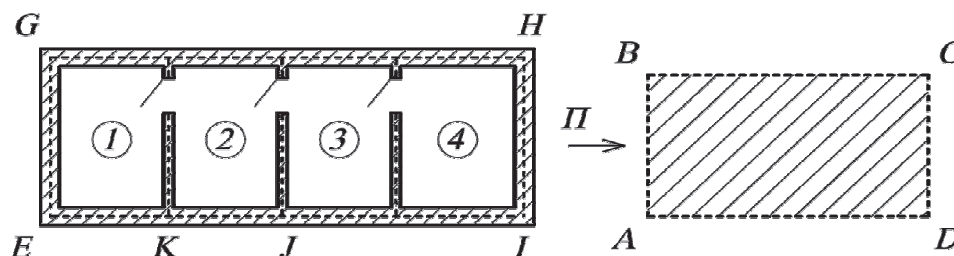
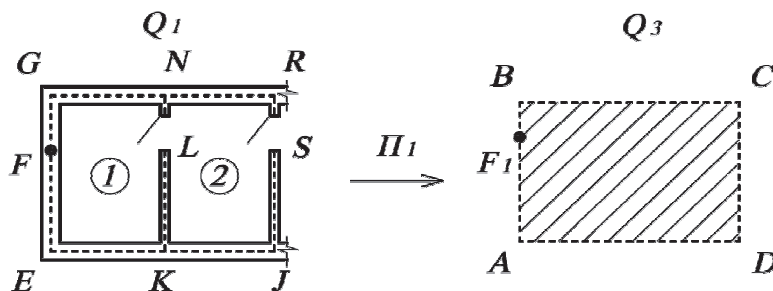


Рис. 1. Конформное отображение  $\Pi$  первоначального помещения

С учетом упомянутого принципа симметрии достаточно построить конформное отображение половины исходного прямоугольника (помещения 1 и 2) с отрезком  $RS$  (назовем его  $Q_1$ ) на какой либо прямоугольник неизвестных размеров  $Q_3$  с отрезком  $CD$  (рис. 2).





**Рис. 2.** Конформное отображение  $\Pi_1$  (левой) половины исходного прямоугольника:  
 $h$  – высота;  $2a$  – ширина;  $d$  – высота центральной перегородки;  $c$  – высота второй перегородки

Будем обозначать такое отображение через  $\Pi_1$  и называть его решением задачи № 1. При наличии отображения  $\Pi_1$  требуемое в исходной задаче отображение  $\Pi$  совпадает с  $\Pi_1$  на левой половине начальной фигуры, а на правую половину оно продолжается симметричным образом. При этом необходимо отметить, что первоначальное помещение упрощается, а именно не учитываются уступы дверных проходов, представленных на рисунке 1. В свою очередь, построение отображения  $\Pi_1$  можно свести к поиску еще более простого отображения, пользуясь тем же принципом симметрии. В этом случае, для решения задачи № 1 необходимо рассмотреть вспомогательную задачу 2, которая заключается в построении отображения прямоугольника  $Q_2$  (помещение 1) с отрезком  $NL$  на какой-либо прямоугольник  $\Pi_2$  с отрезком  $CD$ . Пользуясь принципом симметрии, можно утверждать, что существует конформное отображение внутренней части фигуры  $Q_1$  на некоторую новую фигуру, последняя содержит в себе прямоугольник  $Q_3$ , отрезок, а также фигуру, симметричную  $Q_3$ . Построенное отображение обозначим через  $H_2$ , имея в виду, что оно является симметричным продолжением отображения  $\Pi_2$ . Отображение  $\Pi_2$  непрерывно продолжается на границу области  $Q_1$ , кроме того симметричные относительно разреза пары точек фигуры  $Q_1$  переходят в пары точек, симметричные относительно отрезка  $CD$ . Следующим этапом является рассмотрение сквозного (сложного) отображения представленного в виде:

$$\Pi_2^{(\bar{h}, 2\bar{a}, \bar{b})} \cdot \hat{\Pi}_2^{(h, a, d)}, \tag{1}$$

Ясно, что такое отображение также является конформным и решает исходную задачу 1. Значит, его можно считать искомым отображением  $\Pi_1$ . После зеркального отображения  $\Pi_1$  левой стороны фигуры на правую получим искомое отображение линий тока в исследуемом помещении. В рассматриваемой задаче интерес представляет построение линий тока [1], которые являются образами горизонтальных линий под действием обратного отображения

$$\Pi_1^{-1} = \left( \hat{\Pi}_2^{(h, a, d)} \right)^{-1} \cdot \left( \Pi_2^{(\bar{h}, 2\bar{a}, \bar{b})} \right)^{-1}, \tag{2}$$

Далее, как указано в работах [3, 4], построение полей скоростей в помещении производится на основании положения, согласно которому, производная комплексного потенциала является комплексно сопряженным вектором к вектору скорости. При известном отображении сложной фигуры на полуплоскость, касательные к линиям тока вычисляются простым дифференцированием. Таким образом, алгоритм расчета полей скорости в помещении сводится к двум стадиям. На первой стадии производится построение линий тока потоков воздуха, на второй стадии осуществляется непосредственный расчет скоростей воздуха в произ-

вольных точках пространства. Для наглядности конечный результат расчета первого этапа можно представить с помощью пакета Maple (рис.3).

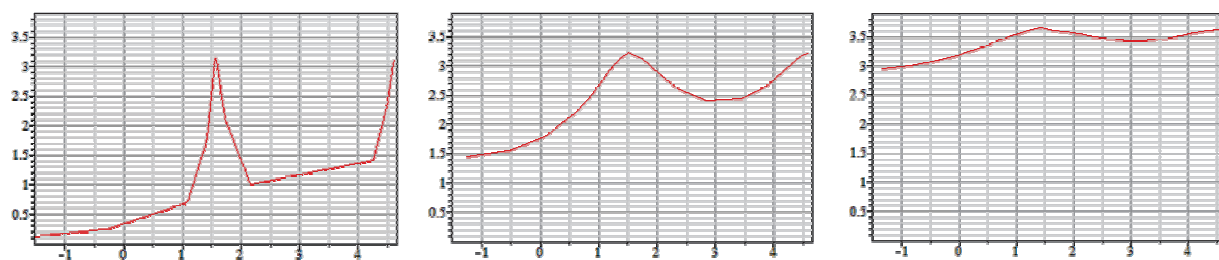


Рис. 3. Линии тока в первой половине помещения построенные с помощью пакета Maple

Для рассматриваемой задачи построения линий тока расчет сводится к следующей последовательности: преобразование прямоугольника реальных размеров в прямоугольник, для которого существует решение при заданном параметре  $\alpha$   $\rightarrow$  преобразование прямоугольника в полуплоскость под действием эллиптического синуса с параметром  $\alpha$   $\rightarrow$  преобразование полуплоскости в полуплоскость под действием дробно-линейного отображения  $\rightarrow$  преобразование полуплоскости в прямоугольник под действием эллиптического интеграла с параметром  $\beta$   $\rightarrow$  преобразование прямоугольника в прямоугольник путем сжатия  $\rightarrow$  преобразование прямоугольника в полуплоскость под действием эллиптического синуса с параметром  $\eta$   $\rightarrow$  преобразование полуплоскости в полуплоскость под действием дробно-линейного отображения  $\rightarrow$  преобразование полуплоскости в прямоугольник под действием эллиптического интеграла с некоторым параметром  $\gamma$ . Построение общего отображения производится в обратном порядке как суперпозиция простых отображений. На втором этапе расчета скорость воздуха может быть получена как в графическом виде, в виде вектора, так и в табличном.

**Вывод.** Результаты применения метода конформных отображений к моделированию линий тока в помещениях с преградами можно считать близкими к реальным, а компьютерные вычисления, проведенные с помощью этого метода, используют лишь одну функцию и потому являются, по сути, аналитическими, что в итоге повышает точность конечных результатов. Модель основывается на применении симметрий прямоугольных фигур и свойствах эллиптического интеграла и обратной к нему функции. Реализация данных функций в пакетах символьной математики сохраняет высокую точность при численном изучении модели, что позволяет оценивать получаемые результаты расчета как достоверные.

#### Библиографический список

1. **Loboda, A. V.** Determination of velocity fields of air streams in ventilated rooms with conformal mappings / A.V.Loboda, S.V.Chuykin // Scientific herald of the Voronezh state university of architecture and civil engineering. Construction and architecture. – 2013. – №3. – С. 39-51.
2. **Melkumov, V. N.** Modelling Air Flows in Premises Using Conformal Mapping / V.N.Melkumov, S.A.Kolodyazhniy, S.V.Chuykin // Middle East Journal of Scientific Research – 2014. - №22(1). – С.78-81.
3. **Мелькумов, В. Н.** Математическое моделирование воздушных потоков в помещениях больших объемов / В.Н.Мелькумов, А.В.Лобода, С.В.Чуйкин // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. 2014. № 2 (34). С. 11-18.
4. **Чуйкин, С. В.** Вентиляция и экологическая безопасность жилых и общественных помещений / С.В. Чуйкин // Экология и промышленность России. – 2015. - №2. – С.42-44.
5. **Wang, B.** A simplified methodology for the prediction of mean air velocity and particle concentration in isolation rooms with downward ventilation systems / B.Wang, B.Zhao, C.Chen // Building and Environment. – 2010. – Т. 45. – № 8. – С. 1847-1853.
6. **Zuo, W.** Fast and informative flow simulations in a building by using fast fluid dynamics model on graphics processing unit / W.Zuo, Q.Chen // Building and Environment. – 2010. – Т. 45. – № 3. – С. 747-757.
7. **Melkumov, V. N.** Conformal mapping in mathematical modelling of air flows in remises / V.N. Melkumov, S.V. Chuykin, K.A. Sklyarov, A.I. Kolosov // Indian Journal of Science and Technology. 2016. Т. 9. № 18.

8. **Чуйкин, С. В.** Применение теории функции комплексного переменного при решении задач вентиляции / С.В. Чуйкин // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. – 2014. – Т. 2. № 4 (17). – С. 33-37.
9. **Лобода, А. В.** Определение скоростных полей воздушных потоков в вентилируемых помещениях с помощью конформных отображений / А. В. Лобода, С. В. Чуйкин // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. – 2012. – № 4 (28). – С. 23-31.
10. **Sklyarov, K. A.** Two-dimensional stationary movement of air flow in premises with partitions / K.A. Sklyarov, A.V. Cheremisin, S.P. Pavlyukov // Scientific herald of the Voronezh state university of architecture and civil engineering. Construction and architecture. – 2009. – №2. С. 69-76.
11. **Лобода, А. В.** Использование метода конформных отображений для определения полей скоростей воздушных потоков в задачах вентиляции / А.В. Лобода, С.Н. Кузнецов // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. – 2011. – №1(21). – С. 15 – 21.
12. **Кирнова, М. А.** Организация вытяжной вентиляции разноэтажного жилого комплекса / М. А. Кирнова / Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. – 2016. – №1(2). – С. 28-37.
13. **Чуйкин, С. В.** Применение конформных отображений при решении задач вытесняющей вентиляции / С.В. Чуйкин, Р. А. Люльков // Инженерные системы и сооружения. – 2013. №1(10). – С. 29-36.
14. **Кирнова, М. А.** Имитационное моделирование работы систем вытяжной вентиляции разноэтажного жилого комплекса / М.А. Кирнова, О.А. Сотникова // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. – 2013. - №1(10). – С. 44-54.
15. **Плаксина, Е. В.** Анализ методов организации микроклимата в спортивно-оздоровительных помещениях / Е. В. Плаксина, О. С. Замерина, Е. М. Бобрешов, А. А. Шевцов // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. – 2013. – №2(11). – С. 70-77.
16. **Кузнецов, С. Н.** Математическая модель распространения дымовых газов на путях эвакуации / С. Н. Кузнецов // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. – 2013. – №3(31). – С. 114-120.
17. **Склярков, К. А.** Метод расчета рациональных режимов работы местной и общеобменной вентиляции / К. А. Склярков, С. А. Колодяжный, Д. А. Драпалюк // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Физико-химические проблемы и высокие технологии строительного материаловедения. – 2012. – № 5. – С. 116-118.

## References

1. **Loboda, A. V.** Determination of velocity fields of air streams in ventilated rooms with conformal mappings / A.V.Loboda, S.V.Chuykin // Scientific herald of the Voronezh state university of architecture and civil engineering. Construction and architecture. – 2013. – №3. – С. 39-51.
2. **Melkumov, V. N.** Modelling Air Flows in Premises Using Conformal Mapping / V.N. Melkumov, S.A. Kolodyazhnyi, S.V. Chuykin // Middle East Journal of Scientific Research – 2014. - №22(1). – С.78-81.
3. **Mel'kumov, V. N.** Matematicheskoe modelirovanie vozdušnyh potokov v pomeshhenijah bol'shih obe-mov / V.N. Mel'kumov, A.V. Loboda, S.V. Chujkin // Nauchnyj vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Stroitel'stvo i arhitektura. 2014. № 2 (34). S. 11-18.
4. **Chujkin, S. V.** Ventiljacija i jekologicheskaja bezopasnost' zhilyh i obshhestvennyh pomeshhenij / S.V. Chujkin // Jekologija i promyshlennost' Rossii. – 2015. - №2. – S.42-44.
5. **Wang, B. A** simplified methodology for the prediction of mean air velocity and particle concentration in isolation rooms with downward ventilation systems / B.Wang, B.Zhao, C.Chen // Building and Environment. – 2010. – Т. 45. – № 8. – С. 1847-1853.
6. **Zuo, W.** Fast and informative flow simulations in a building by using fast fluid dynamics model on graphics processing unit / W.Zuo, Q.Chen // Building and Environment. – 2010. – Т. 45. – № 3. – С. 747-757.
7. **Melkumov, V. N.** Conformal mapping in mathematical modelling of air flows in remises / V.N. Melkumov, S.V. Chuiyin, K.A. Sklyarov, A.I. Kolosov // Indian Journal of Science and Technology. 2016. Т. 9. № 18.
8. **Chujkin, S. V.** Primenenie teorii funkcion kompleksnogo peremennogo pri reshenii zadach ventiljacionnoj / S.V. Chujkin // Nauchnyj zhurnal. Inzhenernyye sistemy i sooruzhenija. – 2014. – Т. 2. № 4 (17). – С. 33-37.
9. **Loboda, A. V.** Opredelenie skorostnyh polej vozdušnyh potokov v ventiliruemyh pomeshhenijah s pomoshh'ju konformnyh otobrazhenij / A.V. Loboda, S.V. Chujkin // Nauchnyj vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Stroitel'stvo i arhitektura. – 2012. – № 4 (28). – С. 23-31.
10. **Sklyarov, K. A.** Two-dimensional stationary movement of air flow in premises with partitions / K.A. Sklyarov, A.V. Cheremisin, S.P. Pavlyukov // Scientific herald of the Voronezh state university of architecture and civil engineering. Construction and architecture. – 2009. – №2. S. 69-76.
11. **Loboda, A. V.** Ispolzovanie metoda konformnyh otobrazhenij dlja opredelenija polej skorostej vozdušnyh potokov v zadachah ventiljacionnoj / A.V. Loboda, S.N. Kuznecov // Nauchnyj vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Stroitel'stvo i arhitektura. – 2011. - №1(21). – С. 15 – 21.

12. **Kirnova, M. A.** Organizacija vytjazhnoj ventiljacii raznojetazhnogo zhilogo kompleksa / M.A. Kirnova / Gradostroitel'stvo. Infrastruktura. Kommunikacii. – 2016. – №1(2). – S. 28-37.
13. **Chujkin, S. V.** Primenenie konformnyh otobrazhenij pri reshenii zadach vytesnjajushhej ventiljacii / S.V. Chujkin, R. A. Ljul'kov // Inzhenernye sistemy i sooruzhenija. – 2013. №1(10). – s. 29-36.
14. **Kirnova, M. A.** Imitacionnoe modelirovanie raboty sistem vytjazhnoj ventiljacii raznojetazhnogo zhilogo kompleksa / M.A. Kirnova, O.A. Sotnikova // Nauchnyj zhurnal. Inzhenernye sistemy i sooruzhenija. – 2013. – №1(10). – S. 44-54.
15. **Plaksina, E. V.** Analiz metodov organizacii mikroklimata v sportivno-ozdorovitel'nyh pomeshhenijah / E.V. Plaksina, O.S. Zamerina, E.M. Bobreshov, A.A. Shevcov // Nauchnyj zhurnal. Inzhenernye sistemy i sooruzhenija. – 2013. – №2(11). – S. 70-77.
16. **Kuznecov, S. N.** Matematicheskaja model' rasprostraneniya dymovyh gazov na putjah jevakuacii / S.N. Kuznecov // Nauchnyj vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Stroitel'stvo i arhitektura. – 2013. – №3(31). – S. 114-120.
17. **Sklyarov, K. A.** Metod rascheta racional'nyh rezhimov raboty mestnoj i obsheobmennoj ventiljacii / K. A. Sklyarov, S. A. Kolodjazhnyj, D. A. Drapaljuk // Nauchnyj vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Serija: Fiziko-himicheskie problemy i vysokie tehnologii stroitel'nogo materialovedeniya. – 2012. – № 5. – S. 116-118.

## MATHEMATICAL MODELLING OF AIR FLOWS IN THE ROOM DURING THE ORGANIZATION OF DISPLACEMENT VENTILATION

S. V. Chuikin, S. G. Tulsckaya, K. A. Sklyarov, E. O. Blagovestnaya

*Voronezh State Technical University*

*S. V. Chuikin, PhD in Engineering, Assoc. Prof. of Dept. of Heat and Gas Supply and oil and gas business  
Russia, Voronezh, tel.: +7(473)271-53-21., e-mail: ser.chu@mail.ru*

*S. G. Tulsckaya, PhD in Engineering, Assoc. Prof. of Dept. of Heat and Gas Supply and oil and gas business  
Russia, Voronezh, tel.: +7(473)271-53-21, e-mail: tcdtnkfyf2014@ya.ru*

*K. A. Sklyarov PhD in Engineering, Assoc. Prof. of Dept. of Fire and Industrial Safety  
Russia, Voronezh, tel.: +7(473)271-53-21, e-mail: fisis@vgasu.vrn.ru*

*E. O. Blagovestnaya, assistant of Dept. of Heat and Gas Supply and oil and gas business  
Russia, Voronezh, tel.: +7(473)271-53-21., e-mail: katek123@inbox.ru*

**Statement of the problem.** Stricter requirements to the accuracy of the aerodynamic calculation of ventilation systems of premises leads to the need of application of methods based on mathematical modeling. The most common methods, the basics of developing on the solution of equations of fluid dynamics involve significant amounts of computation that affects the accuracy of the calculation result. For this reason, it is urgent to develop as close as possible to the analytical methods patterns of distribution of streams of air in the room.

**Results.** The proposed model is based on the application of symmetries of the rectangular shapes and the properties of the elliptic integral and its inverse function.

**Conclusions.** That maintains high accuracy in the numerical study of the model due to the use of only one function.

**Keywords:** displacement ventilation, conformal mapping, mathematical modeling, air flow, streamlines.

*Для цитирования: Чуйкин, С. В. Математическое моделирование потоков воздуха в помещении при организации вытесняющей вентиляции / С. В. Чуйкин, С. Г. Тульская, К. А. Склярков, Е. О. Благовестная // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. – 2017. – № 2 (7). – С. 15-20.*

*For citation: Chuikin, S. V. Mathematical modelling of air flows in the room during the organization of displacement ventilation / S. V. Chuikin, S. G. Tulsckaya, K. A. Sklyarov, E. O. Blagovestnaya // Gradostroitelstvo. Infrastruktura. Kommunikatsii. – 2017. – № 2 (7). – Pp. 15-20.*

УДК 697.956

**МЕТОДИКА РАСЧЕТА ПРОТИВОДЫМНОЙ ВЫТЯЖНОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ**

Н. В. Колосова

*Воронежский государственный технический университет**Н. В. Колосова, старший преподаватель кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела**Россия, г. Воронеж, тел.: +7(473)271-53-21, e-mail: kolosnv@yandex.ru*

**Постановка задачи.** Целью исследований, выполненных в данной работе, является разработка методики расчета противодымной вытяжной вентиляции, обеспечивающей предотвращение задымления при пожаре путей эвакуации из помещений и здания в целом.

**Результаты.** Рассмотрены системы дымоудаления с естественной и побуждаемой тягой. Во втором случае с помощью аэродинамического расчета определены размеры поперечного сечения воздухопроводов системы удаления из помещений задымленной газовой смеси.

**Выводы.** Получены аналитические зависимости, позволяющие провести инженерные вычисления для определения исходных данных с последующим расчетом вентиляционной системы, обеспечивающей удаление продуктов горения из помещений горящего здания. При этом не требуется привлечения каких-либо программных комплексов ПЭВМ.

**Ключевые слова:** вытяжная вентиляция, аэродинамический расчет противодымной вентиляции.

**Введение.** При пожаре над очагом возгорания образуется восходящий поток, который называется конвективной струей или колонкой. Газы, поднимающиеся в конвективной колонке, достигают потолка и растекаются вдоль него, образуя припотолочный слой. При ограниченной площади пожара с течением времени массовый расход дыма  $G_k$ , поступающего в припотолочный слой из конвективной колонки, становится приблизительно постоянным. Для обеспечения постоянной высоты незадымляемой зоны необходимо, чтобы массовый расход  $G_{\text{вых}}^{\text{д}}$  удаляемого из горящего помещения дыма был равен массовому расходу поступающих из конвективной колонки газов. Расчет противодымной вытяжной вентиляции заключается в определении технических характеристик дымоудаляющих устройств, обеспечивающих равенство  $G_{\text{вых}}^{\text{д}} = G_k$  при задаваемой высоте незадымляемой зоны. Предлагаемая автором последовательность аналитических зависимостей для определения  $G_k$  и расчета вытяжной вентиляции является продолжением исследований [3-6].

**1. Противодымная вытяжная вентиляция с естественной тягой.** Рассмотрим систему дымоудаления с естественным побуждением тяги, обеспечивающей незадымляемую зону в нижней части помещения. Расход дыма, поступающего в припотолочный слой из конвективной колонки, определяется формулой [9]

$$G_k = 0.188 \cdot P_r \cdot \sqrt{h^3}, \quad (1)$$

или

$$G_k = 0.032 \cdot \sqrt[5]{Q_k^3 \cdot h}, \quad (2)$$

где  $P_r$  – периметр очага возгорания, м;  $h$  – высота незадымляемой зоны, м;  $Q_k$  – конвективная составляющая тепловыделения очага возгорания, идущая на нагрев продуктов горения, Вт.

Конвективная составляющая мощности пожара  $Q_k$  определяется равенством [7]

$$Q_k = (1 - \varphi) \cdot \eta \cdot \psi_{yd} \cdot Q_n^p \cdot F_{пож}, \quad (3)$$

где  $\varphi$  – коэффициент, определяющий долю тепла от очага возгорания, поглощаемого ограждающими конструкциями, который принимает значения от 0,25 до 0,5;  $\eta$  – коэффициент полноты сгорания ( $\eta = 0,85-0,9$ );  $\psi_{yd}$  – удельная скорость выгорания (количество горючего вещества, выгорающего на квадратном метре за единицу времени), кг/с·м<sup>2</sup>;  $Q_n^p$  – рабочая теплота (наименьшее значение) сгорания горючего вещества, Дж/кг;  $F_{пож}$  – площадь горения пожарной нагрузки, м<sup>2</sup>.

В формуле (3) выражение, стоящее после скобок, определяет мощность тепловыделения очага пожара  $Q_{пож}$ , Вт [7]

$$Q_{пож} = \eta \cdot \psi_{yd} \cdot Q_n^p \cdot F_{пож}, \quad (4)$$

которая в некоторых случаях является известной величиной (например, для одной единицы горящего легкового автомобиля она составляет 4,5 – 5,0 МВт). В этом случае конвективную составляющую мощности пожара можно определить по формуле

$$Q_k = (1 - \varphi) \cdot Q_{пож}. \quad (5)$$

Площадь отверстий, которые требуются для удаления дыма, вычисляется через  $G_k$  по формуле:

$$S_{вых} = \frac{G_k}{\mu \cdot \sqrt{\rho_d \cdot \Delta P}}, \quad (6)$$

где  $\mu$  – коэффициент расхода дымоудаляющего устройства (в расчетах принимают значение  $\mu = 0,64$ );  $\rho_d$  – плотность дымовой газовой смеси, кг/м<sup>3</sup>;  $\Delta P$  – перепад давления внутри помещения и снаружи на уровне проема дымоудаляющего устройства, Па.

При расположении дымоудаляющего устройства в покрытии помещения величина  $\Delta P$  определяется равенством

$$\Delta P = g \cdot (H - h) \cdot (\rho_n - \rho_d), \quad (7)$$

где  $g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;  $H$  – высота помещения, м;  $\rho_n$  – плотность наружного воздуха, кг/м<sup>3</sup>.

Плотности наружного воздуха и дымовой газовой смеси можно вычислить через значения их температур  $T_n$  и  $T_d$

$$\rho_n = \frac{353}{T_n + 273}, \quad \rho_d = \frac{353}{T_d + 273}. \quad (8)$$

Для систем с естественным побуждением тяги в расчетах температура наружного воздуха берется в соответствии с [10, 11] для теплого периода года. Температура дымовой газовой смеси определяется из уравнения теплового баланса

$$T_{\partial} = \frac{Q_{\kappa}}{c_p^{\partial} \cdot G_{\kappa}} + T_n, \quad (9)$$

где  $c_p^{\partial}$  – удельная изобарная теплоемкость дымовой газовой смеси, Дж / кг·К.

Если объем горящего помещения не превышает  $10^4 \text{ м}^3$ , то температуру и физические свойства дымовой газовой смеси в зависимости от преобладающего горящего материала можно принять в соответствии с данными, приведенными ниже в таблице.

Таблица

Физические свойства дымовой газовой смеси

Горючий материал	$T_{\partial}$ , °С	$c_p^{\partial}$ , Дж/(кг·К)	$\rho_{\partial}$ , кг/м <sup>3</sup>
Бумажная продукция	220	1097	0,748
Волокнистые вещества	300	1122	0,617
Твердые материалы	450	1168	0,491
Жидкости и газы	600	1214	0,369

Если объем помещения превышает  $10^4 \text{ м}^3$ , то среднюю плотность  $\rho_{\partial}^*$  можно определить с помощью приближенного равенства

$$\rho_{\partial}^* = \rho_{\partial} + \frac{V - 10^4}{200}, \quad (10)$$

где  $\rho_{\partial}$  – плотность дымовой газовой смеси при горении материала соответствующего вида в помещении объемом менее  $10^4 \text{ м}^3$ ;  $V$  – объем помещения, м<sup>3</sup>.

Объем удаляемой дымовой газовой смеси за час составит величину

$$W = \frac{3600 \cdot G_{\kappa}}{\rho_{\partial}}, \quad (11)$$

где  $W$  – объемный часовой расход дыма, м<sup>3</sup>/ч.

В ходе расчета системы дымоудаления с естественной тягой воздуха по формуле (6) определяются либо площадь дымовых люков в перекрытии, либо площадь открываемых при задымлении с помощью электроприводов оконных проемов, либо площадь устанавливаемых на каналы дымоудаления противопожарных клапанов. Расчет системы дымоудаления с побуждаемой тягой аналогичен расчету вентиляции с естественной тягой, но здесь основными определяемыми величинами являются характеристики вентилятора системы дымоудаления. К ним относятся объемный часовой расход удаляемой задымленной газовой среды  $W$ , вычисляемый по формуле (11), и потери давления  $\Delta P_{\text{вент}}$  в воздуховодах системы противодымной вентиляции. Последние определяются с помощью аэродинамического расчета аналогично случаю обычной механической вентиляции. Аэродинамический расчет позволяет подобрать необходимое сечение воздуховодов побуждаемой системы дымоудаления.

## 2. Аэродинамический расчет противодымной вентиляции с побуждаемой тягой.

Конечной целью аэродинамического расчета является определение размеров поперечного сечения воздухопроводов системы удаления задымленной газовой смеси. При этом максимально допустимая скорость движения газов в этих воздухопроводах равна 15 м/с, в практических расчетах скорость удаления дыма принимают от 8 м/с до 12 м/с.

Расчетный объем дымовой газовой смеси, удаляемой вентиляционной сетью за час, определяется равенством

$$W_p = k_n \cdot W_c, \quad (12)$$

где  $W_p$  – расчетный объемный часовой расход дыма, м<sup>3</sup>/ч;  $W_c$  – объемный расход дыма, удаляемый сетью, м<sup>3</sup>/ч;  $k_n$  – поправочный коэффициент, принимающий значения от 1,1 до 1,15.

Аналогичным выражением определяются расчетные потери давления

$$\Delta P_p = k_n \cdot \Delta P_c, \quad (13)$$

где  $\Delta P_p$  – расчетные потери давления, Па;  $\Delta P_c$  – потери давления в вентиляционной сети, Па;

Сетевые потери давления  $\Delta P_c$  складываются из потери давления вдоль трассы воздухопровода из-за трения о стенки каналов ( $\Delta P_{mp}$ ) и потери давления при сопротивлении в отводах, тройниках, крестовинах и т.п. ( $\Delta P_{comp}$ ):

$$\Delta P_c = \Delta P_{mp} + \Delta P_{comp}. \quad (14)$$

В свою очередь потери давления от трения определяются выражением

$$\Delta P_{mp} = 0.5 \cdot f \cdot l \cdot \rho_\delta \cdot v^2 / d_\delta. \quad (15)$$

где  $f$  – коэффициент трения, зависящий от диаметра и шероховатости стенок воздухопровода, а также скорости движения газовой смеси по каналу;  $l$  – длина рассматриваемого участка воздухопровода, м;  $v$  – скорость движения газовой смеси на рассматриваемом участке воздухопровода, м/с;  $d_\delta$  – эквивалентный диаметр на рассматриваемом участке воздухопровода, м.

Коэффициент трения  $f$  определяется выражением:

$$f = 0.11 \cdot \sqrt[4]{\frac{k_\delta}{d_\delta} + \frac{68}{Re}}. \quad (16)$$

Здесь  $k_\delta$  – абсолютная эквивалентная шероховатость поверхности стенок каналов воздухопровода, м;  $Re$  – критерий Рейнольдса, вычисляемый по формуле:

$$Re = v \cdot d / \nu_\delta, \quad (17)$$

где  $d$  – диаметр канала воздухопровода, м;  $\nu_\delta$  – кинематическая вязкость задымленной газовой смеси, м<sup>2</sup>/с.

Потери давления при местных сопротивлениях определяются формулой:

$$\Delta P_{comp} = \sum \xi \cdot \rho_\delta \cdot v^2 / 2, \quad (18)$$

где  $\sum \xi$  – сумма коэффициентов местных сопротивлений воздухопровода.



Примерная площадь поперечного сечения канала воздуховода определяется через объемный часовой расход дыма  $W$  и скорость движения газовой смеси  $v$  на рассматриваемом участке воздуховода равенством

$$S_{np} = \frac{W}{3600 \cdot v}. \quad (19)$$

Типовые поперечные размеры и соответствующие толщины стенок каналов воздухопроводов регламентированы СНиП [10] (таблица П.1). Подобрать с помощью таблицы П.5 геометрические размеры воздуховода с фактической площадью поперечного сечения  $S_{\phi}$ , наиболее приближенной к  $S_{np}$ , необходимо вычислить фактическую скорость в воздуховоде

$$v = \frac{W}{3600 \cdot S_{\phi}}, \quad (20)$$

которая и подставляется в представленные выше формулы (15) и (18). При этом эквивалентный диаметр  $d_s$  на рассматриваемом участке воздуховода равен диаметру поперечного сечения в случае цилиндрической формы воздуховода, а в случае прямоугольного поперечного сечения размером  $a \times b$  вычисляется по формуле

$$d_s = 2 \cdot a \cdot b / (a + b). \quad (21)$$

В общем случае расход воздуха в цилиндрическом и прямоугольном воздуховоде с эквивалентным диаметром при равенстве скоростей не совпадают.

Значение входящей в формулу (16) абсолютной эквивалентной шероховатости стенок воздухопроводов зависит от материала, из которого выполнен воздухопровод: для листовой стали  $k_s = 0,1$  мм; для шлакобетонных плит  $k_s = 1,5$  мм; для каналов в стенах из кирпичной кладки с оштукатуренной поверхностью  $k_s$  принимает значения от 3,0 мм до 6,0 мм; если кирпичная кладка каналов не оштукатурена, то  $k_s$  принимает значения от 5,0 мм до 10,0 мм.

Необходимо отметить, что в формулах (15) и (18) потери давления в воздуховодах зависят от плотности дымовой газовой смеси  $\rho_d$ , имеющей существенные отличия в меньшую сторону от плотности воздуха при комнатной температуре, что требует обязательного учета в расчетах. В ходе расчета желательно, чтобы по мере приближения к вытяжному вентилятору скорости движения газовой смеси на участках воздуховода возрастали. При аэродинамических расчетах помимо нормирующих документов в качестве справочной литературы можно использовать источники [8, 12, 13].

**Выводы.** Расчетный режим работы системы дымоудаления предполагает удаление из помещений задымленную газовую смесь из продуктов горения и воздуха, который поступает в конвективную колонку над очагом возгорания. Но часто наблюдаются другие режимы работы противодымной вентиляции, резко снижающие эффективность ее работы. В случае системы дымоудаления с естественным побуждением при большой разнице температур воздуха снаружи помещения и газовой смеси в припотолочном слое холодный воздух под нижней границей дымовой завесы начинает поступать в дымоудаляющий проем под действием подъемных сил и перепада давлений снаружи и внутри помещения. В случае системы дымоудаления с механическим побуждением аналогичный эффект наблюдается при достаточно большой скорости газового потока на входе в дымоудаляющий проем из-за работы вентилятора. В итоге из помещения удаляется холодный воздух, который к тому же является препятствием для удаления продуктов горения. В зарубежной литературе этот нерасчетный режим работы системы дымоудаления получил название «plugholing» [14]. В отечественных источ-

никах начальные исследования этого нежелательного эффекта в работе противодымной вентиляции представлены работами профессора С.В. Пузача и его учеников [1, 2].

В данной работе представлены несложные инженерные решения в аналитической форме, которые без привлечения ПЭВМ и специализированных программных комплексов позволяют определить исходные данные для расчета вентиляционных систем в зависимости от состояния газовой среды в рассматриваемом помещении и оптимизировать расчет параметров системы дымоудаления, сводящей нежелательный эффект поступления холодного воздуха в дымоудаляющий проем к минимуму.

#### Библиографический список

1. **До, Т. Т.** Снижение эффективности системы дымоудаления с искусственным побуждением при возникновении «поддува» / Т. Т. До, С. В. Пузач // Пожаровзрывобезопасность. – 2015. – Т. 24. – № 5. – С. 54-61.
2. **До, Т. Т.** Термогазодинамические условия возникновения захвата холодного воздуха системой дымоудаления с естественным побуждением при пожаре в помещении / Т. Т. До, С. В. Пузач, В. Г. Пузач // Тепловые процессы в технике. – 2015. – Т. 7. – № 3. – С. 117-125.
3. **Колодяжный, С. А.** Аналитический расчет основных параметров противодымной вентиляции зданий / С.А. Колодяжный, Н.В. Колосова, И.И. Переславцева // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. – 2016. – № 1 (41). – С. 131-138.
4. **Колодяжный, С. А.** Методика расчета противодымной приточной вентиляции / С.А. Колодяжный, Н.В. Колосова // Известия Юго-Западного государственного университета. – 2015. – № 3 (60). – С. 46-51.
5. **Колодяжный, С. А.** Расчет противодымной вентиляции помещений многофункционального назначения / С.А. Колодяжный, Н.В. Колосова // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. – 2016, № 4 (5). – С. 22-30.
6. **Колодяжный, С. А.** Расчет параметров приточно-вытяжной вентиляции для защиты зданий от распространения дыма при пожаре / С. А. Колодяжный, Н. В. Колосова // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. – 2015 – № 3 (20). – С. 68-76.
7. **Кошмаров, Ю.А.** Прогнозирование опасных факторов пожара в помещении: Учеб. пособие. – М.: Академия ГПС МВД России, 2000. – 118 с.
8. **Стомехина, Г. И.** Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха: жилые здания со встроенно-пристроенными помещениями общественного назначения и стоянками автомобилей. Коттеджи: справочное пособие. – М.: Пантори, 2003. – 308 с.
9. Рекомендации по расчету вентиляционных систем противодымной защиты общественных зданий. – М.: ООО «Веза», 2008.
10. **СНиП 2.04.05-91\***. Отопление, вентиляция и кондиционирование. – Введ. 28.11.91. – М.: Изд-во стандартов 1991. – 119 с.
11. **СНиП 41-01-03.** Отопление, вентиляция и кондиционирование. – М.: ГУП ЦПП, 2003. – 54 с.
12. **Павлов, Н. Н.** Справочник проектировщика. Ч. 3. Вентиляция и кондиционирование воздуха / Под ред. Н.Н. Павлова и Ю.И. Шиллера. – М., 1992. – 416 с.
13. **Хрусталева, Б. М.** Теплоснабжение и вентиляция. Курсовое и дипломное проектирование / Под ред. проф. Б.М. Хрусталева. – М.: Изд-во АСВ, 2005. – 576 с.
14. **Lougheed, G. D.** Basic Principles of Smoke Management for Atriums // Construction Technology Update. – 2000. – N. 47. – P. 1-6.
15. **Скляров, К. А.** Применение воздушно-теплового моделирования в работе систем пожарной сигнализации / К. А. Скляров, Е. А. Сушко, О. Н. Филатова // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. – 2011. – № 2. – С. 42-45.
16. **Скляров, К. А.** Влияние перегородок на пожарную и промышленную безопасность объекта / К. А. Скляров, Е. А. Сушко // Проблемы обеспечения безопасности при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. – 2013. – Т. 1. – № 1 (2). – С. 432-435.

#### References

1. **Do, T. T.** Snizhenie jeffektivnosti sistemy dymoudalenija s iskusstvennym pobuzhdeniem pri voz-niknovenii «podduva» / T. T. Do, S. V. Puzach // Pozharovzryvobezopasnost'. – 2015. – T. 24. – № 5. – S. 54-61.
2. **Do, T. T.** Termogazodinamicheskie uslovija vzniknovenija zahvata holodnogo vozduha sistemoj dymoudalenija s estestvennym pobuzhdeniem pri pozhare v pomeshhenii / T. T. Do, S. V. Puzach, V. G. Puzach // Teplovyje processy v tehnikе. – 2015. – T. 7. – № 3. – S. 117-125.
3. **Kolodjazhnyj, S. A.** Analiticheskij raschet osnovnyh parametrov protivodymnoj ventiljaccii zdaniy / S.A. Kolodjazhnyj, N.V. Kolosova, I.I. Pereslavceva // Nauchnyj vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo ar-hitekturno-stroitel'nogo universiteta. Stroitel'stvo i arhitektura. – 2016, № 1 (41). – S. 131-138.

4. **Kolodjazhnyj, S. A.** Metodika rascheta protivodymnoj pritochnoj ventiljacii / S.A. Kolodjazhnyj, N.V. Kolosova // Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. – 2015, № 3 (60). – S. 46-51.
5. **Kolodjazhnyj, S. A.** Raschet protivodymnoj ventiljacii pomeshhenij mnogofunkcional'nogo naznache-nija / S.A. Kolodjazhnyj, N.V. Kolosova // Gradostroitel'stvo. Infrastruktura. Kommunikacii. – 2016, № 4 (5). – S. 22-30.
6. **Kolodjazhnyj, S. A.** Raschet parametrov pritochno-vytjazhnoj ventiljacii dlja zashhity zdaniy ot rasprostraneniya dyma pri pozhare / S.A. Kolodjazhnyj, N.V. Kolosova // Nauchnyj zhurnal. Inzhenernye sistemy i sooruzhenija. – 2015, № 3 (20). – S. 68-76.
7. **Koshmarov, Ju. A.** Prognozirovanie opasnyh faktorov pozhara v pomeshhenii: Ucheb. posobie. – M.: Akademija GPS MVD Rossii, 2000. – 118 s.
8. **Stomahina, G. I.** Otoplenie, ventiljacija i kondicionirovanie vozduha: zhilye zdaniya so vstroenno-pristroennymi pomeshhenijami obshhestvennogo naznachenija i stojankami avtomobilej. Kottedzhi: spravochnoe posobie. – M.: Pantori, 2003. – 308 s.
9. Rekomendacii po raschetu ventiljacionnyh sistem protivodymnoj zashhity obshhestvennyh zdaniy. – M.: OOO «Veza», 2008.
10. **SNiP 2.04.05-91\***. Otoplenie, ventiljacija i kondicionirovanie. – Vved. 28.11.91. – M.: Izd-vo standartov 1991. – 119 s.
11. **SNiP 41-01-03**. Otoplenie, ventiljacija i kondicionirovanie. – M.: GUP CPP, 2003. – 54 s.
12. **Pavlov, N. N.** Spravochnik proektirovshhika. Ch. 3. Ventiljacija i kondicionirovanie vozduha / Pod red. N.N. Pavlova i Ju.I. Shillera. – M., 1992. – 416 s.
13. **Hrustalev, B. M.** Teplosnabzhenie i ventiljacija. Kursovoe i diplomnoe proektirovanie / Pod red. prof. B.M. Hrustaleva. – M.: Izd-vo ASV, 2005. – 576 s.
14. **Louheed, G. D.** Basic Principles of Smoke Management for Atriums // Construction Technology Update. – 2000. – N. 47. – P. 1-6.
15. **Sklyarov, K. A.** Primenenie vozdušno-teplovogo modelirovanija v rabote sistem pozharnej signa-lizacii / K. A. Sklyarov, E. A. Sushko, O. N. Filatova // Nauchnyj zhurnal. Inzhenernye sistemy i sooruzhenija. – 2011. – № 2. – S. 42-45.
16. **Sklyarov, K. A.** Vlijanie peregorodok na pozharuju i promyshlennuju bezopasnost' ob#ekta / K. A. Sklyarov, E. A. Sushko // Problemy obespechenija bezopasnosti pri likvidacii posledstvij chrezvychajnyh si-tuacij. – 2013. – T. 1. – № 1 (2). – S. 432-435.

## METHODOLOGY OF CALCULATING ANTI-AIR EXHAUST VENTILATION

N. V. Kolosova

---

*Voronezh State Technical University*

*N. V. Kolosova, senior teacher of Heat and Gas Supply and oil and gas business  
Russia, Voronezh, tel.: +7(473)271-53-21, e-mail: teplosnab\_kaf@vgasu.vrn.ru*

---

**Statement of the problem.** The aim of the research carried out in this work is to develop calculation methodologies smoke exhaust ventilation to prevent over-dymlenija in case of fire emergency exits from premises and the building as a whole.

**Results.** Considered a smoke control system with natural and induced thrust. The wto-rom case with the aerodynamic calculation of the sizes of the cross section of the duct system removal from the premises smoky gas mixture.

**Conclusions.** Analytical dependences are received, allowing to carry out engineering calculations to determine baseline data with subsequent calculation of the ventilation system, security wausa removal of combustion products from the premises of a burning building. Without the need of the desire of any software systems PC.

**Keywords:** ventilation, aerodynamic calculation of smoke ventilation.

*Для цитирования: Колосова, Н. В.* Методика расчета противодымной вытяжной вентиляции / Н. В. Колосова // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. – 2017. – № 2 (7). – С. 21-27.

*For citation: Kolosova, N. V.* Methodology of calculating anti-air exhaust ventilation / N. V. Kolosova // Gradostroitel'stvo. Infrastruktura. Kommunikatsii. – 2017. – № 2 (7). – Pp. 21-27.

УДК 621.833

**РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ В ПРОЦЕССЕ ОСТЫВАНИЯ  
ОДНОРОДНОГО ПОЛУПРОСТРАНСТВА**

Б. М. Кумицкий, Н. А. Саврасова, А. А. Черников

*Воронежский государственный технический университет**Б. М. Кумицкий, канд. физ.-мат. наук, доцент, кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела  
Россия, г. Воронеж, тел.: +7(473)271-28-27, e-mail:boris-kum@mail.ru**Всероссийский учебный научный центр военно-воздушных сил Военно-воздушной академии имени профессора  
Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина**Н. А. Саврасова, канд. физ.-мат. наук, кафедры физики и химии**Россия, г. Воронеж, тел.: +7 (951)872-94-25, e-mail:savrasova-nataly@mail.ru**А. А. Черников, магистрант кафедры проектирования зданий и сооружений имени Н. В. Троицкого  
Россия, г. Воронеж, тел.: +7(951)851-14-41, e-mail:BioNikle@rabler.ru*

**Постановка задачи.** Получено аналитическое выражение для одноосного, нестационарного температурного поля остывающего полупространства. Предполагается, что теплообмен осуществляется исключительно теплопроводностью. В качестве объекта такого пространства могут служить полуограниченные пластина или вода в предлежавшем состоянии.

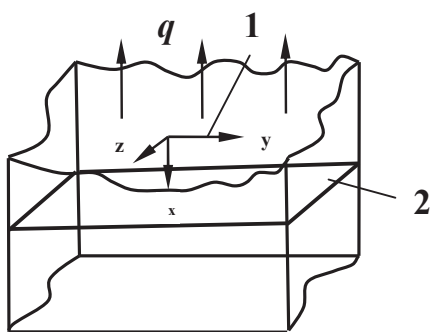
**Результаты и выводы.** Решение получено с помощью интегрального преобразования Лапласа. Показана эффективность данного метода при решении подобного рода задач.

**Ключевые слова:** теплопроводность, частная производная, преобразование Лапласа, изображение, оригинал.

Процессы, связанные с охлаждением больших объемов, имеют важное практическое значение: в металлургии – при кристаллизации расплавов, а также термообработке металлов и сплавов; в геологии – при охлаждении больших масс после извержения вулканов; в биологии – для изучения животного мира водоемов; строительной теплотехники и других прикладных дисциплинах.

Впервые задача об остывании полупространства была поставлена и решена В. Томсоном [1]. При этом решение уравнения теплопроводности получено методом размерностей и подобия. Применим к решению этой задачи метод интегрального преобразования Лапласа, который успешно применялся для решения задач математической физики, в том числе и уравнений теплопроводности [2, 3, 4], наряду с классическими методами – разделением переменных и методом источников. Итак, рассмотрим однородную среду, заполняющую пространство, ограниченную плоскостью  $x=0$ , связанную с системой координат (рис. 1).

Ось  $x$  направлена внутрь среды перпендикулярно границе. В начальный момент времени  $t=0$  температура среды  $T(x, y, z)|_{t=0} = const = T_0$ . Температура на границе среды для всех  $t>0$  принимает значения  $T_1 < T_0$ , т.е. в момент  $t=0$  температура на границе испытывает скачок. Предположим далее, что теплообмен осуществляется теплопроводностью, а все плоскости  $x = \xi$ , параллельные границе рассматриваемого пространства, являются изотермическими. Таким образом, искомое нестационарное поле температур  $T(x, t)$  может быть решено одномерного уравнения теплопроводности



**Рис. 1.** К задаче об остывании полупространства:  
 1 – система координат, связанная с плоскостью  $x=0$ ;  
 2 – изотермическая плоскость  $x = \xi$ ,  
 $q$  – тепловой поток

$$\frac{\partial T}{\partial t} = a \frac{\partial^2 T}{\partial x^2}, \tag{1}$$

где  $a = \frac{\lambda}{\rho c}$  – коэффициент температуропроводности;  $\rho$  – плотность материала среды;  $c$  – удельная теплоемкость;  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности.

Такие случаи возможны при передаче тепла по длине бесконечно длинного тонкого стержня с теплоизолированной боковой поверхностью, по толщине пластины, бесконечной по всем направлениям, а также водного пространства при температурах, когда процессы естественной конвекции прекращены (предлежательное состояние).

Ситуация, когда на поверхности поддерживается постоянная температура  $T_l$  для всех  $t > 0$  может быть между телом с бесконечно большим коэффициентом теплообмена и окружающей средой с постоянной температурой  $T_l$ .

Операционный метод интегрального преобразования Лапласа состоит в том, что решение ищется не для самой, например, функции времени (оригинала)  $f(t)$ , а для ее изображения  $\overline{f(P)}$ . Переход к изображению  $\overline{f(P)}$  осуществляется преобразованием Лапласа относительно переменной  $t$ :

$$\overline{f(P)} = \int_0^{\infty} f(t) e^{-Pt} dt, \tag{2}$$

где  $P$  – комплексная переменная (параметр Лапласа).

Воспользуемся интегралом (2), который для нашего случая будет иметь вид:

$$\overline{T(x, P)} = \int_0^{\infty} T(x, t) e^{-Pt} dt. \tag{3}$$

и применим это преобразование к уравнению (1) для времени  $t$ . Это будет равносильно умножению обеих частей (1) на  $e^{-Pt}$

$$\int_0^{\infty} \frac{\partial T}{\partial x} e^{-Pt} dt = a \int_0^{\infty} \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} e^{-Pt} dt. \tag{4}$$

Интегрирование по частям левой части (4) дает

$$\int_0^{\infty} \frac{\partial T}{\partial x} e^{-Pt} dt = e^{-Pt} T(x, t) \Big|_0^{\infty} + P \int_0^{\infty} T(x, t) e^{-Pt} dt = P\bar{T}(x, P) - \bar{T}(x, 0), \quad (5)$$

где  $T(x, 0) = T_0$ .

После интегрирования правой части (4) имеем

$$a \int_0^{\infty} \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} e^{-Pt} dt = a \frac{d^2}{dx^2} \int_0^{\infty} T(x, t) e^{-Pt} dt = a \frac{d^2 \bar{T}(x, P)}{dx^2}. \quad (6)$$

Приравнявая (5) и (6), получим линейное неоднородное дифференциальное уравнение второго порядка с постоянными коэффициентами относительно изображения  $\bar{T}(x, P)$

$$a \frac{d^2 \bar{T}}{dx^2} - P\bar{T} = -T_0. \quad (7)$$

Решение неоднородного дифференциального уравнения в пространстве изображений  $\bar{T}(x, P)$  является суммой общего решения однородного  $\bar{T}_{об}$  и частного  $\bar{T}_{час}$  решения неоднородного уравнения [5]:

$$\bar{T}(x, P) = \bar{T}_{об} + \bar{T}_{час}. \quad (8)$$

Для нахождения общего решения составляется характеристическое алгебраическое уравнение (в нашем случае квадратное), которое на основании замены  $\frac{d^2 \bar{T}}{dx^2} = r^2$  будет иметь вид  $ar^2 - P = 0$ , откуда

$$r = \pm \sqrt{\frac{P}{a}}. \quad (9)$$

Каждому корню (9) соответствует свое решение, а линейная комбинация их с произвольными постоянными  $C_1$  и  $C_2$  является общим решением однородного уравнения

$$\bar{T}_{об}(x, P) = C_1 e^{\sqrt{\frac{P}{a}}x} + C_2 e^{-\sqrt{\frac{P}{a}}x}. \quad (10)$$

В силу равномерного начального распределения температур в уравнении (7) производная  $\frac{d^2 \bar{T}}{dx^2} = 0$ , тогда частное решение неоднородного уравнения (7) имеет вид

$$\bar{T}_{час} = \frac{T_0}{P}. \quad (11)$$

Решение (8) с учетом (10) и (11) запишется в виде

$$\bar{T}(x, P) = C_1 e^{\sqrt{\frac{P}{a}}x} + C_2 e^{-\sqrt{\frac{P}{a}}x} + \frac{T_0}{P}. \quad (12)$$

Определим теперь частное решение неоднородного уравнения, удовлетворяющее заданным граничным условиям. Для этого с помощью преобразования Лапласа граничные условия переведем в пространство изображения

$$\bar{T}(0, P) = \int_0^{\infty} e^{-Pt} T_1 dt = \frac{T_1}{P}. \quad (13)$$

Для нахождения постоянных  $C_1$  и  $C_2$  используем граничные условия. Соотношение (12) при  $x=0$  будет иметь вид

$$C_1 + C_2 = \frac{T_0}{P} - \frac{T_1}{P}. \quad (14)$$

При стремлении же  $x \rightarrow \infty$  слагаемое  $C_2 e^{-\sqrt{\frac{P}{a}}x}$  в (12) равно нулю, а слагаемое  $C_1 e^{\sqrt{\frac{P}{a}}x}$  – нефизично, поэтому, естественно,  $C_1$  принимается равным нулю. Тогда из (14) находим

$$C_2 = C = \frac{T_0 - T_1}{P}. \quad (15)$$

при этом решение изображающего уравнения (12) при условии (15) переписывается в виде

$$\bar{T}(x, P) = \frac{T_0 - T_1}{P} e^{-\sqrt{\frac{P}{a}}x} + \frac{T_0}{P}. \quad (16)$$

Оно является решением вспомогательного уравнения (7). По таблице оригиналов и соответствующих им изображений для преобразований Лапласа [6] находим искомое решение уравнения теплопроводности (1):

$$T(x, t) = (T_1 - T_0) \left(1 - \operatorname{erf} \frac{x}{2\sqrt{at}}\right) + T_0 = (T_0 - T_1) \operatorname{erf} \left(\frac{x}{2\sqrt{at}}\right) + T_1. \quad (17)$$

где  $\operatorname{erf} \left(\frac{x}{2\sqrt{at}}\right)$  – затабулированный интеграл вероятности.

$$\operatorname{erf} \left(\frac{x}{2\sqrt{at}}\right) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^{\frac{x}{2\sqrt{at}}} e^{-y^2} dy. \quad (18)$$

Видно, что с учетом этой замены полученное распределение температур (17)

$$T(x, t) = 2 \frac{T_0 - T_1}{\sqrt{\pi}} \int_0^{\frac{x}{2\sqrt{at}}} e^{-y^2} dy, \quad (19)$$

совпадает с решением [1], полученным методом размерностей.

Следует заметить, что обратное преобразование Лапласа для большинства задач может быть выполнено с помощью таблиц стандартных преобразований. В общем же случае оно проводится по формуле обращения

$$f(t) = \frac{1}{2\pi i} \int_{\sigma-i\infty}^{\sigma+i\infty} \bar{f}(P) e^{Pt} dP. \quad (20)$$

Контурное интегрирование проводится в комплексной плоскости  $P = \xi + i\eta$  вдоль прямой  $\sigma = const$ , параллельной мнимой оси.

**Выводы.** В заключение отметим, что для анализа динамики температурного поля (17) необходимо построение графиков зависимости температуры среды от времени для фиксированных значений координат с использованием численных методов [7].

Правдивость результатов, полученных методом преобразования Лапласа, показывает его эффективность. В частности, этот метод применим для решения пространственных задач теплопроводности, в то время, как классические методы не всегда пригодны и удобны для практического применения.

#### Библиографический список

1. Сивухин, Д. В. Общий курс физики, термодинамика и молекулярная физика / Д. В. Сивухин/ М.: Наука, 1979. – 552 с.
2. Диткин, В. А. Интегральные преобразования и операционное исчисление/ В. А. Диткин, А. П. Прудников / М.: Наука, 1961.
3. Карслоу, Г. Теплопроводность твердых тел / Г. Карслоу, Д. Егер/ М.: Наука, 1964. – 488 с.
4. Чупров, И. Ф. Уравнения математической физики с приложениями к задачам нефтедобычи и трубопроводного транспорта газа / И.Ф. Чупров, Е.А. Канева, А.А. Мордвинов / Учебное пособие, Ухта, 2004.
5. Фихтенгольц, Г. М. Курс дифференциального и интегрального исчисления / Г.М. Фихтенгольц/ М.: Физматлит, 2001.
6. Диткин, В. А. Справочник по операционному исчислению/ В. А. Диткин, А. П. Прудников / М.: Высшая школа, 1965.
7. Дилигенская, А. Н. Математическое моделирование систем с распределенными параметрами / А.Н. Дилигенская, И.А. Данилушкин / Учебное пособие. Самара: СГТУ, 2012.
8. Мелькумов, В. Н. Математическое моделирование процессов тепломассообмена в сетевых трубопроводах систем теплоснабжения / В. Н. Мелькумов, Р. В. Сорокин // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Инженерные системы зданий и сооружений. – 2003. – № 1. – С. 37-38.
9. Мелькумов, В. Н. Математическое моделирование полей концентраций вредных веществ при производстве строительных материалов / В. Н. Мелькумов, С. Н. Кузнецов // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. – 2013. – № 1 (29). – С. 99-107.
10. Кузнецов, С. Н. Повышение эффективности выбора трасс инженерных сетей / С. Н. Кузнецов, В. Н. Кобелев // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. – 2011. – № 4. – С. 45-51.
11. Булыгина, С. Г. Моделирование конвективного теплообмена человека с воздухом производственных помещений ресторанных комплексов / С. Г. Булыгина, О. А. Сотникова // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. – 2011. – № 2. – С. 55-66.
12. Плаксина, Е. В. Характерные особенности требуемых параметров микроклимата помещений физкультурно-оздоровительных комплексов / Е. В. Плаксина, Я. А. Арнольбик, О. Ю. Струкова, Е. Э. Дубровская // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. – 2014. – № 1 (14). – С. 53-59.

#### References

1. Sivuhin, D. V. Obshhij kurs fiziki, termodinamika i molekularnaja fizika / D. V. Sivuhin/ M.: Nauka, 1979. – 552 s.



2. **Ditkin, V. A.** Integral'nye preobrazovaniya i operacionnoe ischislenie/ V. A. Ditkin, A. P. Prudnikov / M.: Nauka, 1961.
3. **Karslou, G.** Teploprovodnost' tverdyh tel / G. Karslou, D. Eger/ M.: Nauka, 1964, – 488 s.
4. **Chuprov, I. F.** Uravneniya matematicheskoy fiziki s prilozhenijami k zadacham neftedobychi i truboprovodnogo transporta gaza / I.F. Chuprov, E.A. Kaneva, A.A. Mordvinov / Uchebnoe posobie, Uhta, 2004.
5. **Fihtengol'c, G. M.** Kurs differencial'nogo i integral'nogo ischisleniya / G.M. Fihtengol'c/ M.: Fizmatlit, 2001.
6. **Ditkin, V. A.** Spravochnik po operacionnomu ischisleniju/ V. A. Ditkin, A. P. Prudnikov / M.: Vysshaja shkola, 1965.
7. **Diligenskaja, A. N.** Matematicheskoe modelirovanie sistem s raspredelennymi parametrami / A.N. Diligenskaja, I.A. Danilushkin / Uchebnoe posobie. Samara: SGTU, 2012.
8. **Mel'kumov, V. N.** Matematicheskoe modelirovanie processov teplomassoobmena v setevykh truboprovodakh sistem teplosnabzheniya / V. N. Mel'kumov, R. V. Sorokin // Nauchnyj vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Serija: Inzhenernye sistemy zdaniy i sooruzhenij. – 2003. – № 1. – S. 37-38.
9. **Mel'kumov, V. N.** Matematicheskoe modelirovanie polej koncentracij vrednyh veshhestv pri proizvodstve stroitel'nyh materialov / V. N. Mel'kumov, S. N. Kuznecov // Nauchnyj vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Stroitel'stvo i arhitektura. – 2013. – № 1 (29). – S. 99-107.
10. **Kuznecov, S. N.** Povyshenie jeffektivnosti vybora trass inzhenernykh setej / S. N. Kuznecov, V. N. Kobelev // Nauchnyj vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Stroitel'stvo i arhitektura. – 2011. – № 4. – S. 45-51.
11. **Bulygina, S. G.** Modelirovanie konvektivnogo teploobmena cheloveka s vozduhom proizvodstvennykh pomeshhenij restorannykh kompleksov / S. G. Bulygina, O. A. Sotnikova // Nauchnyj zhurnal. Inzhenernye sistemy i sooruzhenija. – 2011. – № 2. – S. 55-66.
12. **Plaksina, E. V.** Harakternye osobennosti trebuemykh parametrov mikroklimata pomeshhenij fizkul'turno-ozdorovitel'nykh kompleksov / E. V. Plaksina, Ja. A. Arnol'bik, O. Ju. Strukova, E. Je. Dubrovskaja // Nauchnyj zhurnal. Inzhenernye sistemy i sooruzhenija. – 2014. – № 1 (14). – S. 53-59.

## DISTRIBUTION OF TEMPERATURE IN THE PROCESS OF WASHING HOMOGENEOUS HALF-SPACE

B. M. Kumitsky, N. A. Savrasova, A. A. Chernikov

*Voronezh State Technical University*

*B. M. Kumitsky, PhD. in Physics and Mathematics, Assoc. Prof., of Dept. of Heat and Gas Supply and oil and gas business*

*Russia, Voronezh, tel.: +7 (473)271-28-27, e-mail:boris-kum@mail.ru*

*All-Russian training scientific center of military and air forces of Military and air academy of a name of professor N. E. Zhukovsky and Yu. A. Gagarin*

*N. A. Savrasova, PhD. in Physics and Mathematics, Assoc. Prof., of Dept. physics and chemistry*

*Russia, Voronezh, tel.: +7 (951)872-94-25, e-mail:savrasova-nataly@mail.ru*

*A. A. Chernikov, master of design of buildings and constructions named after N.V. Troitsky*

*Russia, Voronezh, tel.:+7(951)851-14-41, e-mail:BioNiklerabler.ru*

**Statement of the problem.** An analytic expression is obtained for a uniaxial, nonstationary temperature field of a cooling half-space. It is assumed that the heat exchange is carried out exclusively by thermal conductivity. As an object of such a space can serve as a semi-bound plate or water in the pre-emergent state.

**Results and conclusions.** The solution is obtained by means of the integral Laplace transform. The effectiveness of this method is shown when solving such problems.

**Keywords:** heat conductivity, partial derivative, Laplace transform, image, original.

*Для цитирования:* **Кумицкий, Б. М.** Распределение температуры в процессе остывания однородного полупространства / Б. М. Кумицкий, Н. А. Саврасова, А. А. Черников // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. – 2017. – № 2 (7). – С. 28-33.

*For citation:* **Kumitsky, B. M.** Distribution of temperature in the process of washing homogeneous half-space / B. M. Kumitsky, N. A. Savrasova, A. A. Chernikov // Gradostroitel'stvo. Infrastruktura. Kommunikatsii. – 2017. – № 2 (7). – Pp. 28-33.

УДК 620 (075.8)

**УРОВЕНЬ РАЗВИТИЯ ВЕТРОЭНЕРГЕТИКИ В МИРЕ**

Д. М. Чудинов, А. С. Боева, Н. С. Бобина, Е. Г. Сокур

*Воронежский государственный технический университет**Д. М. Чудинов, канд. техн. наук, доцент кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела**Россия, г. Воронеж, тел. +7(473)271-53-21, e-mail: dmch\_@mail.ru**А. С. Боева, студентка кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела**Россия, г. Воронеж, тел. +7(473)271-53-21, e-mail: anna.boeva.94@mail.ru**Н. С. Бобина, студентка кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела**Россия, г. Воронеж, тел. +7(473)271-53-21, e-mail: bobinanatalia2016@gmail.com**Е. Г. Сокур, магистрант кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела**Россия, г. Воронеж, тел. +7(473)271-53-21, e-mail: zhenyasokur@mail.ru*

**Постановка задачи.** В условиях роста цен на органическое топливо и ухудшения экологической обстановки во всем мире актуальным становится вопрос использования нетрадиционных и возобновляемых источников энергии. Ветроэнергетика занимает одну из лидирующих позиций в области альтернативного энергообеспечения зданий и сооружений. Использование ветровой энергии позволит сократить потребление традиционных топливных ресурсов и количество вредных выбросов в атмосферу.

**Результаты и выводы.** Выполнен анализ уровня развития ветроэнергетики в мире, в том числе Российской Федерации. Показаны достоинства, недостатки подобных систем и проблемы, в решении которых они могут сыграть важную роль. Масштаб внедрения ветроустановок определяется валовым, техническим и экономическим потенциалом ветровой энергии региона.

**Ключевые слова:** ветроэнергетика, ветроустановка, энергосбережение, потенциал ветровой энергии.

**Введение.** Загрязнение атмосферы при использовании невозобновляемых источников энергии ведет к ухудшению экологической обстановки во всем мире. При действующих ценах на органическое топливо и тенденции их роста использование ветровой энергии становится все более перспективным и конкурентоспособным.

Ветроэлектрические установки по мощности, числу лопастей рабочего колеса, отношению рабочего колеса к направлению воздушного потока имеют соответственно следующую классификацию: малые (до 10 кВт), средние (от 10 до 100 кВт), крупные (от 100 до 1000 кВт), сверхкрупные (более 1000 кВт); одно-, двух-, трех- и многолопастные; с горизонтальной, параллельной или перпендикулярной вектору скорости осью вращения.

В мире, в том числе Российской Федерации, наибольшее распространение получили трехлопастные ветроэлектрические установки с горизонтальной осью вращения (рис. 1).

Ветроэлектрические установки обладают как преимуществами, так и неизбежными недостатками. К преимуществам можно отнести: повсеместность, обусловленная действием или взаимодействием различных компонентов природной среды; огромные суммарные запасы энергии; относительная экологическая чистота по сравнению с традиционными источниками энергии. Недостатками являются: энергетический поток ветра неравномерен во времени, что вызывает необходимость наличия дублёра (традиционной энергоустановки) и накопления энергии (аккумуляция); при работе энергосистем возникает характерный шум; стоимостные показатели электрической энергии велики; относительно низкая мощность ветроэлектрической установки получаемая с  $1 \text{ м}^2$ .

**Потенциал ветроэнергетических установок.** Несмотря на то, что в Российской Федерации наблюдается некоторое отставание в развитии ветроэнергетики в сравнении с зарубежными странами, этот ресурс можно использовать для решения следующих задач:

- энергообеспечение северных и других труднодоступных районов, не подключённых к централизованным сетям;
- улучшение экологической обстановки в местах массового отдыха населения;
- увеличения генерирующей мощности в существующих энергосистемах.



**Рис. 1.** Общий вид ветроэлектрической установки:  
1 – рабочее колесо; 2 – башня; 3 – фундамент

Для оценки эффективности их использования в заданном регионе необходимо определить валовый, технический и экономический потенциал ветровой энергии.

Валовый потенциал ветровой энергии региона – это среднегодовое суммарное количество энергии, движения воздушных масс над данной территорией в течение одного года, которая доступна для использования [1].

Технический потенциал ветровой энергии региона – это суммарная электрическая энергия, которая может быть получена в регионе от использования валового потенциала ветровой энергии при современном уровне развития технических средств и соблюдения экологических ограничений [1].

Экономический потенциал ветровой энергии региона – это величина годового поступления электрической энергии в регионе от использования ветроэлектрических установок, получение которой экономически оправдано при существующем уровне цен на производство, транспортировку и потребление энергии и топлива и соблюдении экологических норм [1].

Методика определения валового, технического и экономического потенциала ветровой энергии региона приводится в [1]. Общая схема расчета и выбора системы электроснабжения зданий и сооружений представлена на рис. 2.

Текущий уровень развития ветроэнергетики в мире показан на рис. 3. В десятку стран с самой развитой ветроэнергетикой по состоянию на 2015 год входят: Китай, США, Германия, Индия, Испания, Великобритания, Канада, Франция, Италия, Бразилия [7]. Российская Федерация не вошла в представленную десятку, однако работы в этом направлении ведутся.



Рис. 2. Общая схема расчета и выбора системы электроснабжения зданий и сооружений

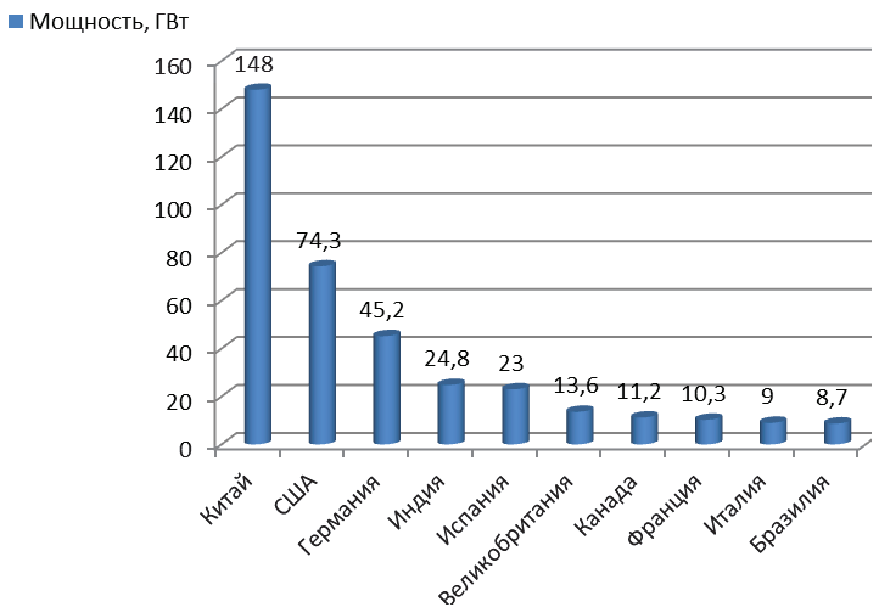


Рис. 3. Суммарный показатель мощности ветропарков стран входящих в первую десятку

К 2020 году планируется обеспечить суммарный показатель мощности ветропарков России 3 ГВт. Одна из действующих и крупных ветроэнергетических станций (мощностью 23 МВт) находится в Калмыкии близ г. Элиста. Основные технические характеристики ветроагрегата, входящего в состав станции, представлены в таблице.

Таблица

Основные технические характеристики ветроагрегата «Радуга – 1»

Наименование	Показатель
Мощность генератора, кВт	1000
Выходное напряжение (трехфазное), В	380 или 6000
Рабочий диапазон скоростей ветра, м/с	5-25
Скорость ветра при номинальной мощности, м/с	13
Предельно допустимая скорость ветра, м/с	60
Система ориентации	самоориентация
Диаметр ветрового колеса, м	48
Высота башни, м	36
Число лопастей	3
Частота вращения рабочего колеса, об/мин	21-42
Срок службы, лет	25
Масса ветроэнергетической установки, тонн	127-130

**Вывод.** Развитие научно-технического прогресса свидетельствует о том, что ветроэнергетика за счёт разворачивания серийного производства, совершенствования технологических решений становится все дешевле. Традиционная же энергетика наоборот, дорожает. Сегодня

ветроэлектрические установки играют все более важную роль в энергоснабжении многих государств.

#### Библиографический список

1. Ресурсы и эффективность использования возобновляемых источников энергии в России / под ред. П. П. Безруких. – СПб.: Наука, 2002. – 314 с.
2. Сибикин, Ю. Д. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: учебное пособие / Ю. Д. Сибикин, М. Ю. Сибикин. – М.: КНОРУС, 2010. – 232 с.
3. **Чудинов, Д. М.** Влияние параметров оборудования гелиоустановок на эффективность альтернативно-теплоснабжения зданий / Д. М. Чудинов, Т. В. Щукина, О. А. Сотникова // Промышленная энергетика. – 2008. – № 9. – С. 44-46.
4. **Чудинов, Д. М.** Использование гелиосистем в различных регионах России / Д. М. Чудинов, Т. В. Щукина // Энергосбережение. – 2009. – № 7. – С. 64-80.
5. **Чудинов, Д. М.** Обеспечение необходимого уровня энергоактивности солнечных систем, проектируемых для регионов Российской Федерации / Д. М. Чудинов, О. А. Сотникова, Т. В. Щукина // Энергосбережение. – 2009. – № 3. – С. 74-76.
6. **Сотникова, О. А.** Экономическое обоснование и перспективы развития солнечного теплоснабжения / О. А. Сотникова, Д. М. Чудинов, Т. В. Щукина // Промышленная энергетика. – 2008. – № 6. – С. 50-52.
7. Строительный портал «Маистро» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://maistro.ru/articles/energetika/sovremennaya-vetroenergetika-kto-est-kto>. – Современная ветроэнергетика: кто есть кто. – (Дата обращения: 08.04.2017).
8. **Мелькумов, В. Н.** Экологическая безопасность и технико-экономическая эффективность предприятий по сжиганию твердых бытовых отходов городов / В. Н. Мелькумов, О. А. Сотникова // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. – 2011. – № 4. – С. 167-181.
9. **Чуйкин, С. В.** Вентиляция и экологическая безопасность жилых и общественных помещений / С. В. Чуйкин // Экология и промышленность России. – 2015. – № 2. – С. 42-44.
10. **Панов, М. Я.** Оперативное управление городскими системами газоснабжения с использованием современных ультразвуковых методов замера расхода газа / М. Я. Панов, Г. Н. Мартыненко // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. – 2008. – № 3. – С. 100-106.
11. **Китаев, Д. Н.** Погрешность расчета температурного графика тепловой сети при использовании показателей отопительных приборов / Д. Н. Китаев // Промышленная энергетика. – 2013. – № 7. – С. 34-37.
12. **Петрикеева, Н. А.** Задача технико-экономической оптимизации при определении толщины теплоизоляционного слоя теплосетей / Н. А. Петрикеева, А. В. Черемисин, А. В. Копытин // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. – 2016. – № 1 (41). – С. 21-28.
13. **Булыгина, С. Г.** Новое и перспективное оборудование для создания микроклимата в ресторанных комплексах / С. Г. Булыгина, О. А. Сотникова // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. – 2012. – № 1. – С. 70-80.
14. **Колосов, А. И.** Разработка модели восстановления систем инженерного обеспечения при экстраординарных воздействиях / А. И. Колосов // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2004. – № 10. – С. 44.

#### References

1. Resursy i jeffektivnost' ispol'zovaniya vozobnovljaemyh istochnikov jenerгии v Rossii / pod red. P. P. Bezrukih. – SPb.: Nauka, 2002. – 314 s.
2. **Sibikin, Ju. D.** Netradicionnye i vozobnovljaemye istochniki jenerгии: uchebnoe posobie / Ju. D. Sibikin, M. Ju. Sibikin. – M.: KNORUS, 2010. – 232 s.
3. **Chudinov, D. M.** Vlijanie parametrov oborudovaniya gelioustanovok na jeffektivnost' al'ternativnogo teplosnabzhenija zdaniy / D. M. Chudinov, T. V. Shhukina, O. A. Sotnikova // Promyshlennaja jenergetika. – 2008. – № 9. – S. 44-46.
4. **Chudinov, D. M.** Ispol'zovanie geliosistem v razlichnyh regionah Rossii / D. M. Chudinov, T. V. Shhukina // Jenergosberezenie. – 2009. – № 7. – S. 64-80.
5. **Chudinov, D. M.** Obespechenie neobhodimogo urovnja jenergoaktivnosti solnechnyh sistem, proektiruemyh dlja regionov Rossijskoj Federacii / D. M. Chudinov, O. A. Sotnikova, T. V. Shhukina // Jenergosberezenie. – 2009. – № 3. – S. 74-76.

6. **Sotnikova, O. A.** Jekonomicheskoe obosnovanie i perspektivy razvitiya solnechnogo teplosnabzhenija / O. A. Sotnikova, D. M. Chudinov, T. V. Shhukina // Promyshlennaja jenergetika. – 2008. – № 6. – S. 50-52.
7. Stroitel'nyj portal «Maistro» [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <https://maistro.ru/articles/energetika/sovremennaya-vetroenergetika-kto-est-kto>. – Sovremennaja vetrojenergetika: kto est' kto. – (Data obrashhenija: 08.04.2017).
8. **Mel'kumov, V. N.** Jekologicheskaja bezopasnost' i tehniko-jekonomicheskaja jeffektivnost' predpriyatij po szhiganiju tverdyh bytovyh othodov gorodov / V. N. Mel'kumov, O. A. Sotnikova // Nauchnyj vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Stroitel'stvo i arhitektura. – 2011. – № 4. – S. 167-181.
9. **Chujkin, S. V.** Ventiljacija i jekologicheskaja bezopasnost' zhilyh i obshhestvennyh pomeshhenij / S. V. Chujkin // Jekologija i promyshlennost' Rossii. – 2015. – № 2. – S. 42-44.
10. **Panov, M. Ja.** Operativnoe upravlenie gorodskimi sistemami gazosnabzhenija s ispol'zovaniem sovremennyh ul'trazvukovyh metodov zamera rashoda gaza / M. Ja. Panov, G. N. Martynenko // Nauchnyj vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Stroitel'stvo i arhitektura. – 2008. – № 3. – S. 100-106.
11. **Kitaev, D. N.** Pogreshnost' rascheta temperaturnogo grafika teplovoj seti pri ispol'zovanii pokazatelej otopitel'nyh priborov / D. N. Kitaev // Promyshlennaja jenergetika. – 2013. – № 7. – S. 34-37.
12. **Petrikeeva, N. A.** Zadacha tehniko-jekonomicheskoy optimizacii pri opredelenii tolshhiny teploizoljacionnogo sloja teplosetej / N. A. Petrikeeva, A. V. Cheremisin, A. V. Kopytin / Nauchnyj vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Stroitel'stvo i arhitektura. – 2016. – № 1 (41). – S. 21–28.
13. **Bulygina, S. G.** Novoe i perspektivnoe oborudovanie dlja sozdaniya mikroklimata v restorannyh kompleksah / S. G. Bulygina, O. A. Sotnikova // Nauchnyj zhurnal. Inzhenernyye sistemy i sooruzhenija. – 2012. – № 1. – S. 70-80.
14. **Kolosov, A. I.** Razrabotka modeli vosstanovlenija sistem inzhenernogo obespechenija pri jekstraor-dinarnyh vozdeystvijah / A. I. Kolosov // Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta. – 2004. – № 10. – S. 44.

## DEVELOPMENT OF WIND ENERGY IN THE WORLD

D. M. Chudinov, A. S. Boeva, N. S. Bobina, E. G. Sokur

*Voronezh State Technical University*

*D.M. Chudinov, Ph.D. in Engineering, Assoc. Prof. of Dept. of Heat and Gas Supply and Oil and Gas Business  
Russia, Voronezh, tel.: +7 (473)271-53-21, e-mail: dmch\_@mail.ru*

*A. S. Boeva, student of Dept. of Heat and Gas Supply and Oil and Gas Business  
Russia, Voronezh, tel.: +7 (473)271-53-21, e-mail: anna.boeva.94@mail.ru*

*N. S. Bobina, student of Dept. of Heat and Gas Supply and Oil and Gas Business  
Russia, Voronezh, tel.: +7 (473)271-53-21, e-mail: bobinanatalia2016@gmail.com*

*E. G. Sokur, master of Dept. of Heat and Gas Supply and Oil and Gas Business  
Russia, Voronezh, tel.: +7 (473)271-53-21, e-mail: zhenyasokur@mail.ru*

**Statement of the problem.** In the face of rising fossil fuel prices and environmental degradation worldwide is a topical issue of the use of alternative and renewable sources of energy. Wind energy is one of the leading positions in the field of alternative energy supply of buildings and structures. The use of wind energy will reduce consumption of conventional fuel resources and the amount of harmful emissions into the atmosphere.

**Results and conclusions.** The analysis of the level of development of wind energy in the world, including the Russian Federation. Advantages, disadvantages of such systems and problems in which they can play an important role. Scale implementation of wind turbines is determined by the gross, technical and economic potential of wind energy in the region.

**Keywords:** wind energy, wind turbine, energy conservation, the potential of wind energy.

*Для цитирования: Чудинов, Д. М. Уровень развития ветроэнергетики в мире / Д. М. Чудинов, А. С. Боева, Н. С. Бобина, Е. Г. Сокур // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. – 2017. – № 2 (7). – С. 34-39.*

*For citation: Chudinov, D. M. Development of wind energy in the world / D. M. Chudinov, A. S. Boeva, N. S. Bobina, E. G. Sokur // Gradostroitelstvo. Infrastruktura. Kommunikatsii. – 2017. – № 2 (7). – Pp. 34-39.*

## СТРОИТЕЛЬСТВО КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ

УДК 699.865

### СТРОИТЕЛЬСТВО ДОМОВ ИЗ СТРУКТУРНЫХ ИЗОЛИРОВАННЫХ ПАНЕЛЕЙ

М. Е. Галета, Н. М. Попова

*Воронежский государственный технический университет**М. Е. Галета, магистрант кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела**Россия, г. Воронеж, тел.: +7(473)271-53-21, e-mail: margaritagirl94@mail.ru**Н. М. Попова, старший преподаватель кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела**Россия, г. Воронеж, тел.: +7(473)271-53-21, e-mail: exclusiv.na@mail.ru*

**Постановка задачи.** Рассматривается технология строительства домов из структурных изолированных панелей (СИП), обеспечивающих защиту помещений от поступления солнечной радиации в летние месяцы и от теплопотерь в отопительный период. Данная задача является актуальной в связи с растущими требованиями по снижению потребления энергии зданиями.

**Результаты.** Определены достоинства и недостатки домов построенных из структурных изолированных панелей, проанализирован рынок производителей.

**Выводы.** Строительство зданий с использованием структурных изолированных панелей обеспечивает эффективное использование ресурсов при энергообеспечении зданий.

**Ключевые слова:** строительство, структурная изолированная панель, энергосбережение.

**Введение.** Можно выделить два основных направления повышения энергетической эффективности объектов: использование в энергетическом балансе зданий энергии возобновляемых источников [1-4]; применение при строительстве зданий современных энергоэффективных ограждающих конструкций [5-9]. В данной статье рассмотрено второе направление.

В настоящее время повышается интерес на российском строительном рынке к каркасным и каркасно-панельным домам из СИП. В первую очередь актуальность данного строительства заключается в экономии энергоресурсов. Такие дома считаются теплыми, экологичными, прочными и долговечными. Продолжительность строительства таких домов невелика. Энергосберегающие свойства дома из СИП получаются за счет применения в их конструкции теплоизоляционного материала с низким коэффициентом теплопроводности.

**1. Технология структурных изолированных панелей.** СИП технология – это разновидность панельного строительства, поскольку дом собирается из конструкционных панелей, изготовленных в заводских условиях. Как правило, для соединения СИП используют деревянный брус. В результате внутри СИП формируется жесткий деревянный каркас, который способен нести нагрузку, передаваемую на стены, перекрытия и крышу здания. Сэндвич-панель (СИП) представляет собой прочную и теплую монолитную трехслойную конструкцию, состоящую из двух деревянных плит (ориентированно-стружечных ОСП), между которыми под высоким давлением вклеен слой плотного утеплителя (пенополистирол) (рис.1).



Здания, построенные из структурных изолированных панелей, имеют привлекательный вид и не нарушают общую архитектуру города (рис. 2).



**Рис. 1.** Конструктивные элементы: а) структурная изолированная панель; б) винтовая свая; в) панели, используемые для отделки фасадов

В настоящий момент на строительном рынке число производителей структурных изолированных панелей огромное множество. Это как зарубежные производители, так и отечественные. Следует быть предельно внимательными при выборе производителя. Для изготовления СИП необходимо дорогостоящее оборудование. Поэтому изготовленная только в производственных условиях структурная изолированная панель будет качественной и надежной. Таким образом, лучше выбирать надежного известного производителя. Выбор качественного производителя стройматериалов дает гарантию комфортного проживания в доме из структурных изолированных панелей.



Рис. 2. Общий вид домов, построенных с использованием СИП

**2. Фундамент домов из СИП.** В качестве фундамента при строительстве домов из структурных изолированных панелей, как правило, используют винтовые сваи (рис. 1, рис. 3). Винтовая свая (винтовой анкер) представляет собой стальную трубу с заостренным наконечником и спиральной лопастью, которая позволяет закрутить сваю в грунт.

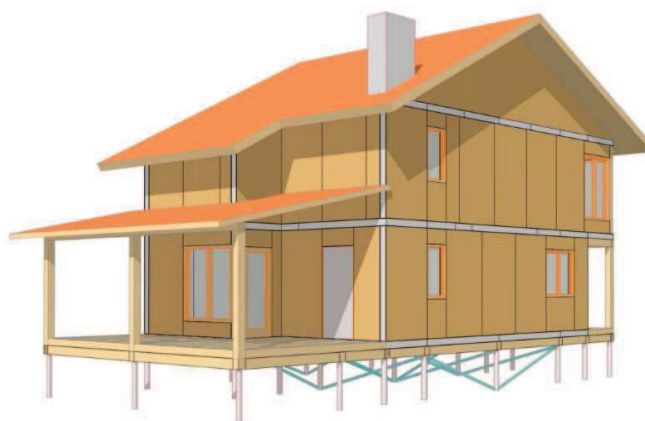


Рис. 3. Дом, построенный с использованием структурных изолированных панелей на винтовых сваях

В процессе монтажа сваи (при ввинчивании), за счет движения ее лопастей, происходит уплотнение почвы, что способствует повышению устойчивости и долговечности фундамента в целом. Лопасть винтовой сваи снижает давление нагруженной сваи на грунт, препятствуя выдергиванию силами морозного пучения грунта. Исходя из этого, винтовой наконечник (шнек), является основным элементом сваи, определяющим ее надежность как опоры.

Так как дома из структурных изолированных панелей обладают относительно небольшим весом, крайне важно, что лопасть винтовой сваи обеспечивает неподвижную точку опоры.

Как правило, свая ввинчивается в плотный (несущий) слой грунта ниже глубины промерзания. Каменистые грунты, глубокие торфяники, илистые грунты текучей консистенции – возможные противопоказания к использованию винтовых свай. К каждому отдельному случаю необходима индивидуальная оценка и подход.

**3. Достоинства строительства домов из СИП.** Дома построенные из СИП отличаются своими энергосберегающими свойствами. Ограждающие конструкции (стены, покрытия, перекрытия) имеют высокое значение термического сопротивления теплопередаче, поэтому в этих домах зимой тепло, летом прохладно. Люди внутри помещения чувствуют себя в максимально комфортных условиях. Затраты на строительство зданий в среднем на 35 % ниже, чем при использовании в строительстве кирпича.

Большим достоинством является их повышенная прочность. Структурные изолированные панели одинаково устойчивы к ветрам и ураганам, выдерживают большие снеговые нагрузки. Так же хорошо переносят жару и холод, температурный диапазон составляет от -60 до +60 градусов.

По долговечности дома из СИП превосходят дома из бревна и бруса. Дома из структурных изолированных панелей служат более 100 лет. Благодаря материалу, из которого состоят СИП, стены домов не впитывают влагу, поэтому уберегут от грибка, плесени и гнили. У структурных изолированных панелей отличная звукоизоляция.

Малый вес конструкции позволяет отказаться от строительной техники, это ускоряет и упрощает процесс строительства, экономит бюджет.

Дома из структурных изолированных панелей не дают усадки, в связи с этим, сразу после сборки дома можно приступать к отделочным работам, что экономит время.

**4. Недостатки строительства домов из СИП.** В домах, построенных с использованием структурных изолированных панелей, практически отсутствует естественная вентиляция. Это отрицательно сказывается на микроклимате в помещении. Недостаток свежего воздуха может привести к повышенной влажности в доме, конденсату на стеклах, духоте, плохому самочувствию людей. Возникает необходимость устанавливать принудительную вентиляцию. Частично эту проблему можно решить установкой пластиковых окон с приточными клапанами. При закрытых окнах они обеспечивают постоянный воздухообмен в помещении. Однако вентиляционные клапаны на окнах имеют свои недостатки. Зимой отверстия вентиляционного клапана могут пропускать слишком много холодного воздуха, что негативно сказывается на энергосбережении. В зоне установки клапана возможно промерзание. Приточная вентиляция на пластиковых окнах эффективно будет функционировать только при наличии исправно работающей вытяжной вентиляции. Соответственно дома из структурных изолированных панелей нуждаются в грамотно спроектированной системе приточно-вытяжной вентиляции.

Так же к основному недостатку можно отнести горючесть. Дома из структурных изолированных панелей недостаточно защищены от огня. По сравнению с деревом это свойство проявляется намного меньше, но дома из кирпича здесь имеют преимущество.

**5. Ведущие производители СИП в России.** На данное время ведущими производителями в России являются такие компании как:

HotWell (Хотвелл). HotWell отлично подойдет для строительства дома, который будет отвечать требованиям экологической безопасности и долговечности. Использование современного промышленного оборудования и особый контроль над качеством продукции позволяет заводам изготавливать панели высокой точности и качества.

Компания «ЭкоЕвроДом» на сегодняшний день одна из крупных производителей структурных изолированных панелей в России. При производстве СИП используются качественные материалы ведущих мировых брендов. Обшивка плит производится на основе материалов немецкого производства Glunz. Фасадный пенополистирол производства «Мосстрой-31» используется в качестве утеплителя.

«ОргТехСтрой» компания использующая при производстве СИП пенополистирол высокого качества KNAUF Therm® WOOD PANEL.

«Гарус» компания изготавливающая СИП по канадской технологии. Это одно из производств на северо-западе России, работающее на автоматизированной линии гидравлического прессования. За счет этого предприятие является одним из лидеров по объему производств.

**Выводы.** Дома из структурных изолированных панелей являются хорошей альтернативой строительства домов из других материалов.

Как любая технология, дома из структурных изолированных панелей имеют свои преимущества и недостатки. К основным достоинствам можно отнести: быстровозводимость конструкции, энергосбережение, эффективная теплозащита. К недостаткам - необходимость проектирования приточно-вытяжной системы, горючесть.

#### Библиографический список

1. **Чудинов, Д. М.** Влияние параметров оборудования гелиоустановок на эффективность альтернативного теплоснабжения зданий / Д. М. Чудинов, Т. В. Щукина, О. А. Сотникова // Промышленная энергетика. – 2008. - № 9. - С. 44-46.
2. **Чудинов, Д. М.** Использование гелиосистем в различных регионах России / Д.М. Чудинов, Т.В. Щукина // Энергосбережение. - 2009. - № 7. - С. 64-80.
3. **Чудинов, Д. М.** Обеспечение необходимого уровня энергоактивности солнечных систем, проектируемых для регионов Российской Федерации / Д.М. Чудинов, О.А. Сотникова, Т.В. Щукина // Энергосбережение. – 2009. - № 3. – С. 74-76.
4. **Сотникова, О. А.** Экономическое обоснование и перспективы развития солнечного теплоснабжения / О.А. Сотникова, Д.М. Чудинов, Т.В. Щукина // Промышленная энергетика. – 2008. - № 6. - С. 50-52.
5. **Железков, В. Н.** Винтовые сваи в энергетических и других отраслях строительства. Монография. - СПб.: Прагма, 2004. – 150с.
6. [Электронный ресурс] <http://www.hotwell.ru/technology.htm>.
7. [Электронный ресурс] <http://russip-dom.ru/articles/1-raznoe/sip-4.html>.
8. [Электронный ресурс] <http://svaisp.ru/stati-na-temu-stroitelstvo/tehnologiya-vintovykh-svaj>.
9. [Электронный ресурс] <http://vse-temu.org/new-luchshie-proizvoditeli-sip-panelej-v-rossii.html>.
10. **Мелькумов, В. Н.** Энергосбережение в системах традиционного и альтернативного теплоснабжения / В. Н. Мелькумов, О. А. Сотникова, В. С. Турбин, Д. Н. Китаев, Р. В. Сорокин // АВОК: Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика. – 2004. – № 2. – С. 62.
11. **Мелькумов, В. Н.** Возможность совмещения технико-математического подхода и метода экспертных оценок в диагностике признаков потери несущей способности строительных конструкций / В. Н. Мелькумов, Р. Ю. Мясичев, Ю. Д. Сергеев // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. – 2014. – № 4 (36). – С. 54-63.
12. **Гладышева, Т. Ю.** Основные направления реконструкции инженерных систем зданий и сооружений / Т. Ю. Гладышева, Н. А. Петрикеева / Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. – 2016. – № 2 (23). – С. 14–21.
13. **Лобода, А. В.** Определение скоростных полей воздушных потоков в вентилируемых помещениях с помощью конформных отображений / А. В. Лобода, С. В. Чуйкин // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. – 2012. – № 4 (28). – С. 23-31.
14. **Панов, М. Я.** Оперативное управление на основе возмущенного состояния городской системы газоснабжения / М. Я. Панов, Г. Н. Мартыненко, А. И. Колосов // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. – 2016. – № 4 (44). – С. 48-55.
15. **Булыгина, С. Г.** Новое и перспективное оборудование для создания микроклимата в ресторанных комплексах / С. Г. Булыгина, О. А. Сотникова // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. – 2012. – № 1. – С. 70-80.

#### References

1. **Chudinov, D. M.** Vlijanie parametrov oborudovaniya gelioustanovok na jeffektivnost' al'ternativ-nogo teplosnabzhenija zdaniy / D. M. Chudinov, T. V. Shhukina, O. A. Sotnikova // Promyshlennaja jenergetika. – 2008. - № 9. - S. 44-46.
2. **Chudinov, D. M.** Ispol'zovanie geliosistem v razlichnyh regionah Rossii / D.M. Chudinov, T.V. Shhu-kina // Jenergosberezhenie. - 2009. - № 7. - S. 64-80.

3. **Chudinov, D. M.** Obespechenie neobhodimogo urovnja jenergoaktivnosti solnechnyh sistem, proekti-ruemyh dlja regionov Rossijskoj Federacii / D.M. Chudinov, O.A. Sotnikova, T.V. Shhukina // Jenergosberezhe-nie. – 2009. - № 3. – S. 74-76.
4. **Sotnikova, O. A.** Jekonomicheskoe obosnovanie i perspektivy razvitija solnechnogo teplosnabzhenija / O.A. Sotnikova, D.M. Chudinov, T.V. Shhukina // Promyshlennaja jenergetika. – 2008. - № 6. - S. 50-52.
5. **Zhelezkov, V. N.** Vintovye svai v jenergeticheskikh i drugih otrasljah stroitel'stva. Monografija.-SPb.: Pragma, 2004. – 150s.
6. [Jelektronnyj resurs] <http://www.hotwell.ru/technology.htm>.
7. [Jelektronnyj resurs] <http://russip-dom.ru/articles/1-raznoe/sip-4.html>.
8. [Jelektronnyj resurs] <http://svaisp.ru/stati-na-temu-stroitelstvo/tehnologiya-vintovyx-svaj>.
9. [Jelektronnyj resurs] <http://vse-temu.org/new-luchshie-proizvoditeli-sip-panelej-v-rossii.html>.
10. **Mel'kumov, V. N.** Jenergosberezhenie v sistemah tradicionnogo i al'ternativnogo teplosnabzhe-nija / V. N. Mel'kumov, O. A. Sotnikova, V. S. Turbin, D. N. Kitaev, R. V. Sorokin // AVOK: Ventiljacija, oto-plenie, kondicionirovanie vozduha, teplosnabzhenie i stroitel'naja teplofizika. – 2004. – № 2. – S. 62.
11. **Mel'kumov, V. N.** Vozmozhnost' sovmeshhenija tehniko-matematicheskogo podhoda i metoda jekspert-nyh ocenok v diagnostike priznakov poteri nesushhej sposobnosti stroitel'nyh konstrukcij / V. N. Mel'ku-mov, R. Ju. Mjasishhev, Ju. D. Sergeev // Nauchnyj vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Stroitel'stvo i arhitektura. – 2014. – № 4 (36). – S. 54-63.
12. Gladysheva, T. Ju. Osnovnye napravlenija rekonstrukcii inzhenernyh sistem zdaniy i sooruzhe-nij / T. Ju. Gladysheva, N. A. Petrikeeva / Nauchnyj zhurnal. Inzhenernye sistemy i sooruzhenija. – 2016. – № 2 (23). – S. 14–21.
13. **Loboda, A. V.** Opredelenie skorostnyh polej vozdušnyh potokov v ventiliruemyh pomeshhenijah s pomoshh'ju konformnyh otobrazhenij / A. V. Loboda, S. V. Chujkin // Nauchnyj vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Stroitel'stvo i arhitektura. – 2012. – № 4 (28). – S. 23-31.
14. **Panov, M. Ja.** Operativnoe upravlenie na osnove vozmushhennogo sostojanija gorodskoj sistemy gazosnabzhenija / M. Ja. Panov, G. N. Martynenko, A. I. Kolosov // Nauchnyj vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Stroitel'stvo i arhitektura. – 2016. – № 4 (44). – S. 48-55.
15. **Bulygina, S. G.** Novoe i perspektivnoe oborudovanie dlja sozdaniya mikroklimata v restorannyh kompleksah / S. G. Bulygina, O. A. Sotnikova // Nauchnyj zhurnal. Inzhenernye sistemy i sooruzhenija. – 2012. – № 1. – S. 70-80.

## BUILDING HOUSES OUT OF STRUCTURAL INSULATED PANELS

M. E. Galeta, N. M. Popova

*Voronezh State Technical University*

*M. E. Galeta, master of Dept. of Heat and Gas Supply and Oil and Gas Business*

*Russia, Voronezh, tel.: +7(473)271-53-21, e-mail: margaritagirl94@mail.ru*

*N. M. Popova, senior lecturer of Dept. of Heat and Gas Supply and Oil and Gas Business*

*Russia, Voronezh, tel.: +7(473)271-53-21, e-mail: exclusiv.na@mail.ru*

**Statement of the problem.** The technology of building houses out of structural insulated panels, providing protection of premises from receipt of solar radiation in summer months and heat loss during the heating season. This problem is relevant in connection with the growing demands for low energy consumption buildings.

**Results.** Identified the advantages and disadvantages of houses built with structural insulated panels, analyzed the market of manufacturers.

**Conclusions.** Construction of buildings using structural insulated panels provides an efficient use of resources in the energy supply of buildings.

**Keywords:** construction, structural insulated panel, energy saving.

*Для цитирования: Галета, М. Е. Строительство домов из структурных изолированных панелей / М. Е. Галета, Н. М. Попова // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. – 2017. – № 2 (7). – С. 40-45.*

*For citation: Galeta, M. E. Building houses out of structural insulated panels / M. E. Galeta, N. M. Popova // Gradostroitelstvo. Infrastruktura. Kommunikatsii. – 2017. – № 2 (7). – Pp. 40-45.*

УДК 620.9:502.174

## ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИ РЕКОНСТРУКЦИИ ЖИЛЫХ ДОМОВ

Н. О. Ермаков, М. В. Новиков

*Воронежский государственный технический университет**Н. О. Ермаков, магистрант кафедры проектирования зданий и сооружений им. Н. В. Троицкого**Россия, г. Воронеж, тел.: +7(473)277-43-39, e-mail: nikita1594@mail.ru**М. В. Новиков, канд. техн. наук, доцент кафедры проектирования зданий и сооружений им. Н. В. Троицкого**Россия, г. Воронеж, тел.: +7(473)277-43-39, e-mail: novikov-2005@mail.ru*

**Постановка задачи.** Здания жилищного сектора характеризуются высокой степенью износа, требуют капитального ремонта и реконструкции. Необходимо решить задачу снижения уровня потребления энергоресурсов. Нужно разработать перечень мероприятий при реконструкции в целях повышения энергоэффективности здания.

**Результаты и выводы.** Обоснована рациональность выполнения капитального ремонта и реконструкции старых зданий. Накопленный опыт отечественной и зарубежной практикой внедрения проектов в существующие дома позволяет сказать, что реконструкция приводит к снижению потребления энергоресурсов, выбросов в атмосферу, повышению надежности и улучшению внешнего вида.

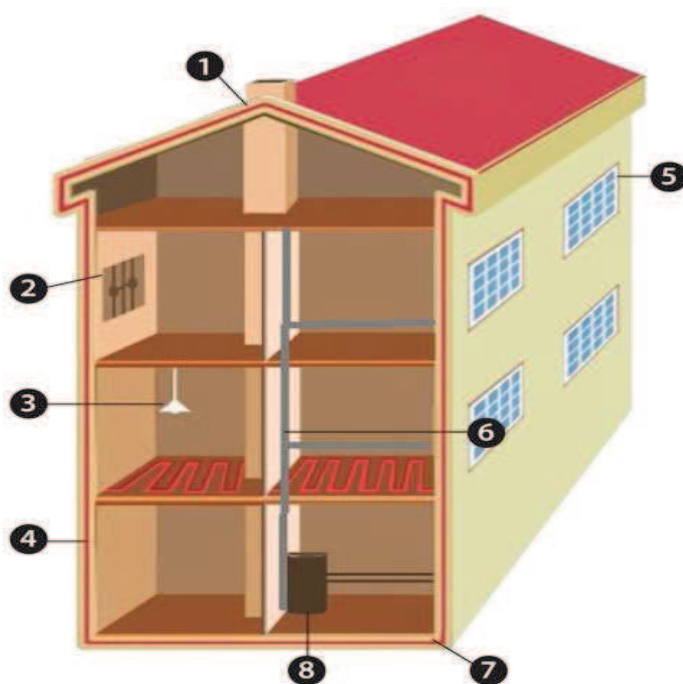
**Ключевые слова:** энергосбережение, энергоэффективность, тепловая энергии, экономия.

**Введение.** Большому количеству российских зданий бюджетной сферы и жилищного сектора требуется реконструкция, в результате которой должно быть снижено энергопотребление данных объектов.

Реконструкция эксплуатируемых зданий является стратегическим направлением решения жилищной проблемы. Она позволяет продлить их жизнь, повысить комфорт проживания, преобразить внешний вид зданий. Одновременно при реконструкции и капитальном ремонте улучшаются эксплуатационные характеристики жилых зданий, связанные с ресурсопотреблением и существенно влияющие на эффективность функционирования жилищно-коммунального хозяйства. Важнейшей из таких характеристик является тепловая эффективность здания, определяемая средним годовым расходом топлива для отопления и горячего водоснабжения одного квадратного метра общей площади, который в домах первых массовых серий составляет 80 – 85 кг/м<sup>2</sup>, в то время как в развитых странах Запада аналогичный показатель составляет 24 – 26 кг/м<sup>2</sup>. Столь неблагоприятное положение связано с низкими теплозащитными качествами наружных ограждений (стен, окон, покрытий, перекрытий над неотапливаемыми подпольями и подвалами) эксплуатируемых зданий, несовершенством систем отопления, вентиляции и горячего водоснабжения.

Неоправданно велики расходы питьевой воды, достигающие до 600 л в сутки на одного человека, что превышает оптимальное значение почти в 3 раза, что связано с отсутствием экономических стимулов и технических средств учета расхода водопотребления. Описанные выше недостатки особенно присущи жилым домам первых массовых серий, общая площадь которых превышает 250 млн. м<sup>2</sup>.

Минимальный перечень работ по повышению энергоэффективности, представлен на рисунке.



**Рис.** Перечень работ по энергоэффективности: 1 – утепление чердаков и кровель; 2 – приборы учета расхода ресурсов; 3 – замена светильников на люминесцентные и светодиодные; 4 – Наружная теплоизоляция стен; 5 – замена окон на более энергоэффективные; 6 – станковка автоматических балансировочных клапанов на стояках и автоматических терморегуляторов на отопительных приборах; 7 – утепление перекрытий над холодными подвалами; 8 – индивидуальный тепловой пункт

Выделены группы мероприятий для экономии тепловой энергии (повышение теплозащиты отдельных элементов контура здания, снижение теплотерь в местах общего пользования, повышение энергоэффективности систем вентиляции, отопления и ГВС); экономии электрической энергии (системы освещения придомовой территории, МОП, инженерное оборудование здания); экономии воды; экономии природного и сжиженного газа; общестроительные инновации, использование ВЭР и ВИЭ.

**1. Утепление чердачных помещений.** Чердачное пространство крыши с теплым чердаком используется в качестве сборной вентиляционной камеры, обогреваемой вентиляционным воздухом, поэтому к ее ограждающим конструкциям предъявляются требования теплозащиты и герметизации в соответствии с требованиями к ограждающим конструкциям дома. Конструктивные элементы должны быть герметичны, основным вентиляционным отверстием является шахта.

Не допускается температура воздуха ниже  $12 - 14\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а в случае ее снижения следует установить источники поступления холодного воздуха (нарушение герметичности вентканала, балконной или входной двери или стеклоблоков).

Двери входа на чердак и люки на крышу несгораемые, имеют плотные притворы и специальные запирающие устройства, контролируемые диспетчерской службой. Межсекционные двери должны быть герметичными с запорами или фальцевыми защелками.

В районах с большим количеством осадков предусматривают отвод влаги в канализацию. Трубы внутреннего водостока в пределах чердака не утепляют, а окрашивают антикоррозийной краской раз в три года.

**2. Методы утепления ограждающих конструкций.** Приведение ограждающих конструкций здания в технически исправное состояние является основным мероприятием на пути повышения их теплозащиты. Дополнительное утепление со стороны помещения выполняют

плитными утеплителями, напылением или инъекционированием. Конструкция утепления состоит из трех слоев: теплоизоляционного, пароизоляционного и отделочного. При утеплении промерзших конструкций с внутренней стороны помещения, обязательным является обеспечение следующих условий производства работ:

- толщина дополнительного утепляющего слоя не должна превышать указанной на чертежах;
- плитный теплоизоляционный слой приклеивается без зазоров к поверхности стены точками (не допускать сплошной приклейки);
- по утеплителю обязательно устройство пароизоляционного слоя;
- обязательно выполнение скоса угла и заводка теплоизоляционного слоя на оконный откос и потолок шириной полосы не менее 200 мм.

В случае применения легких утепляющих материалов необходимо ограничить расчетом толщину слоя, размер карниза или скоса, исходя из условия недопущения образования конденсата на границе утепляющего слоя и укрепляющего слоя, и утепляемой поверхности. Если граница утепляемой поверхности соприкасается с оконным проемом, следует этим же материалом утеплить откос (до коробки), после чего эффективный утеплитель на откосе закрыть отделочным слоем и окрасить за 2 раза масляной краской по грунтовке.

**3. Реконструкция системы горячего и холодного водоснабжения.** При капитальном ремонте домов системы холодного и горячего водопровода полностью демонтируются замененные сети холодного и горячего водопровода должны соответствовать СНиП 2.04.01-85.

- Системы холодного и горячего водопровода принимаются тупиковые, с нижними разводками, системы горячего водопровода – с циркуляцией по магистралям и стоякам.
- Циркуляционный стояк рекомендуется проложить в санузле.
- Каждый дом должен иметь ответвление с устройством водомерного узла.
- Системы горячего водоснабжения также должны иметь на вводе водомерные узлы на подающей и циркуляционной трубе, но без обводной линии.
- На всех водомерных узлах холодного и горячего водопровода, на водомерных узлах секционных узлов горячего водопровода, а также при установке водомеров в квартирах необходимо поставить магнитные муфтовые фильтры.
- Квартирные водомеры целесообразно размещать на спусках ответвлениях в квартире от стояков, в шахтах или коробах после отключающего вентиля.
- Трубопроводы для систем холодного и горячего водоснабжения могут быть предусмотрены в зависимости от местных условий из стальных водогазопроводных оцинкованных труб по ГОСТ 3262-75 или металлопластмассовых, соответствующих требованиям СНиП 2.04.01-85.
- При выборе типа водомеров на вводах холодного и горячего водопровода и на секционных узлах горячего водоснабжения, учитывая местные условия, рекомендуется устанавливать водомеры с дистанционной передачей показания водомера на пульт обслуживающей дом организации.

**4. Мероприятия по усовершенствованию системы отопления.** При модернизации существующих двухтрубных систем отопления необходимо демонтировать все краны с ручным управлением и вместо них устанавливаются клапаны термостатические радиаторные (например, RTД-1 фирмы Данфос). После монтажа термостатических клапанов температура в помещениях будет регулироваться автоматически.

Дополнительно на каждом стояке системы рекомендуется устанавливать автоматические регуляторы перепада давления. Это обеспечит оптимальный гидравлический баланс в системе для подачи в каждый радиатор расчетного количества теплоносителя при полностью открытых термостатических терморегуляторах.



Если система отопления выполнена с трехходовыми кранами, то переход на автоматическое регулирование температуры в помещениях так же осуществляется путем простой замены трехходовых кранов на трехходовые клапаны. После устройства замыкающего участка или установки трехходового термостатического клапана затекание воды в отопительный прибор сократится до 44 %. Это приведет к снижению теплоотдачи приборов отопления примерно на 10 %. На практике это не вызовет каких-либо проблем, так как при утеплении наружных стен в соответствии со СНиП II-3-79\* теплопотери помещений снизятся примерно на 30 % – 40 %.

При реконструкции или капитальном ремонте зданий узлы ввода систем отопления также подлежат модернизации. В узлах ввода устанавливаются регулятор перепада давления и смесительный узел. Также применяются расходомеры крыльчатые или турбинные с герковым датчиком и электронным вычислителем.

**5. Реконструкция системы газоснабжения.** При капитальном ремонте домов системы газоснабжения полностью демонтируются. Подводки к газовым стоякам рекомендуется делать непосредственно в кухне, если газовая магистраль опоясывает дом. Если газовая магистраль проходит по одному фасаду, к которому располагаются большинство кухонь, то к стоякам кухонь, расположенных на противоположном фасаде, подводки к стоякам проходят по лестничной, клетке и подсобным помещениям квартир, за исключением санузлов.

По решению органов власти субъектов Российской Федерации в жилых домах для учета расхода газа должны устанавливаться газовые счетчики.

При капитальном ремонте домов необходимо тщательно прочистить вентиляционные каналы кухонь и газопроводы при установке газовых колонок. Проекты газификации жилых домов при капитальном ремонте должны обязательно согласовываться с местными органами горгаза.

**Выводы.** Основная часть мероприятий по энергосбережению при реконструкции и капитальном ремонте жилых домов, приведенная выше, была успешно внедрена в некоторых регионах страны. Например, в Москве дома постройки 60-х годов (хрущевки) ожидаемо показали, что утепление дома (фасад, подполья, крыш), на которое в среднем было потрачено около 59,7 % (менее двух третей затрат), будет экономить впоследствии три четверти денег средний вклад из-за утепления оболочки дома в экономию денег составил 76,5 % при среднем снижении общедомового счета в 2,61 раза. Инвестиции в утепление фасада (примерно 31 % всех затрат) внесли половину в общую экономию выплат жильцов (49,1 %).

В Екатеринбурге в 2009 году прошла презентация энергосберегающего оборудования для установки во всех домах района «Академический», а затем во всем городе. «Уральский приборостроительный завод» разработал блочно-модульный тепловой пункт, предназначенный для выравнивания параметров теплоносителя и предохранения от излишнего отопления в холодное время года. Оборудование позволяет сэкономить до 30 % энергии и служит 20 лет.

Липецкие муниципальные энергетики посчитали, что с внедрением технологий (в основном за счет освещения улиц и зданий с меньшей токовой нагрузкой и потреблением электроэнергии) удалось сэкономить около 11 млн рублей за год.

В Ярославской области смонтировали когенерационную газопоршневую установку (вырабатывающую одновременно и электрическую, и тепловую энергию). Использование этой установки позволяет снизить стоимость обоих видов энергии почти в два раза.

Во многих регионах в домах вводят современную автоматизированную систему контроля и учета энергоресурсов, устанавливают счетчики дифференцированного тарифа оплаты электричества.

В большинстве стран мира одним из важнейших объектов государственного регулирования стали требования к повышению тепловой защиты зданий. Помимо экономии государ-

ственных энергоресурсов эти требования призваны защитить окружающую среду от вредных выбросов и рационального использования природных ресурсов.

Таким образом, можно сказать, что все методы по энергосбережению при реконструкции зданий, эффективны и позволяют сократить потребление энергоресурсов, снижение выбросов в атмосферу и повышают надежность всех инженерных систем и здания в целом.

#### Библиографический список

1. Методические рекомендации по реконструкции и модернизации инженерного оборудования жилых домов первых массовых серий – Москва, 1998. – 21с.
2. СНиП 2.04.08-87\* «Газоснабжение», – Москва, 1997. – 41с.
3. СНиП 2.04.05-91\* Отопление вентиляция и кондиционирование, – Москва, 1999. – 8с.
4. **Чистяков, Н. Н.** Повышение эффективности работы системы горячего водоснабжения / Чистяков Н. Н., Грудинский М. М., Ливчак В. И. // - Стройиздат, Москва, 1988. – 124с.
5. [https://stroj.mos.ru/builder\\_science/energoberegauschie-tehnologii-v-rossii-i-za-rubezhom](https://stroj.mos.ru/builder_science/energoberegauschie-tehnologii-v-rossii-i-za-rubezhom)

#### References

1. Metodicheskie rekomendacii po rekonstrukcii i modernizacii inzhenernogo oborudovanija zhilyh domov pervyh massovyh serij – Moskva, 1998. – 21s.
2. SNiP 2.04.08-87\* «Gazosnabzhenie», – Moskva, 1997. – 41s.
3. SNiP 2.04.05-91\* Otoplenie ventiljacija i kondicionirovanie, – Moskva, 1999. – 8s.
4. **Chistjakov, N. N.** Povyshenie jeffektivnosti raboty sistemy gorjachego vodosnabzhenija / Chistjakov N. N., Grudzinskij M. M., Livchak V. I. // - Strojizdat, Moskva, 1988. – 124s.
5. [https://stroj.mos.ru/builder\\_science/energoberegauschie-tehnologii-v-rossii-i-za-rubezhom](https://stroj.mos.ru/builder_science/energoberegauschie-tehnologii-v-rossii-i-za-rubezhom)

## ENERGY EFFICIENCY SUPPORT FOR RECONSTRUCTION OF HOUSE

N. O. Ermakov, M. V. Novikov

---

*Voronezh State Technical University*

*N. O. Ermakov, master of the department of designing buildings and structures. N.V. Troitsky*

*Russia, Voronezh, tel. +7(473) 277-43-39, e-mail: nikita1594@mail.ru*

*M. V. Novikov, , PhD in Engineering, Assoc. Prof. of Dept. of Design of Buildings and Structures them. N.V. Troitsky*

*Russia, Voronezh, tel.: +7(473) 277-43-39, e-mail: novikov-2005@mail.ru*

---

**Statement of the problem.** The buildings of the housing sector are characterized by a high degree of wear and tear, require major repairs and reconstruction. It is necessary to solve the problem of reducing the level of energy consumption. It is necessary to develop a list of measures during the reconstruction in order to improve the energy efficiency of the building.

**Results and conclusions.** The rationality of capital repair and reconstruction of old buildings is justified. The accumulated experience of domestic and foreign practice of introducing projects into existing homes allows us to say that reconstruction leads to a decrease in energy consumption, emissions to the atmosphere, increased reliability and better appearance.

**Keywords:** energy saving, energy efficiency, thermal energy, saving.

*Для цитирования: Ермаков, Н. О.* Обеспечение энергоэффективности при реконструкции жилых домов / Н. О. Ермаков, М. В. Новиков // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. – 2017. – № 2 (7). – С. 46-50.

*For citation: Ermakov, N. O.* Energy efficiency support for reconstruction of house / N. O. Ermakov, M. V. Novikov // Gradostroitelstvo. Infrastruktura. Kommunikatsii. – 2017. – № 2 (7). – Pp. 46-50.

УДК 69.034

## СОВРЕМЕННЫЕ КОНСТРУКЦИИ ЗАЩИТЫ ГРУНТОВЫХ ОТКОСОВ ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ ОТ РАЗМЫВА

К. Г. Буравлева, А. Н. Буравлев, Т. В. Гурова

*Воронежский государственный технический университет**К. Г. Буравлева, магистрант кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела**Россия, г. Воронеж, тел.: +7(473)271-53-21, e-mail: teplosnab\_kaf@vgasu.vrn.ru**А. Н. Буравлев, студент кафедры строительства и эксплуатации автомобильных дорог**Россия, г. Воронеж, тел.: +7(473)271-53-21, e-mail: teplosnab\_kaf@vgasu.vrn.ru**Т. В. Гурова, магистрант кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела**Россия, г. Воронеж, тел.: +7(473)271-53-21, e-mail: teplosnab\_kaf@vgasu.vrn.ru*

**Постановка задачи.** На сегодняшний день гибкие бетонные покрытия представляют собой цельную конструкцию, собранную из отдельных гибких бетонных плит. Плиты изготавливаются в заводских условиях. Каждая плита состоит из множества отдельных бетонных блоков, соединенных между собой замоноличенным синтетическим канатом. Бетонные блоки имеют вид двух усеченных пирамид, соединенных между собой по большему основанию. Нижняя плоскость блоков обладает большей шероховатостью, чем верхняя. Соответственно при укладке гибкого бетонного покрытия на трудно размываемую поверхность значительно увеличивается устойчивость покрытия за счет повышенного сопротивления.

**Результаты и выводы.** Гибкое бетонное покрытие работает на откосе грунтового сооружения по принципу гибкого экрана и при сравнительно небольших материальных затратах на его изготовление и минимальной массе защищает от размыва течением и ветровыми волнами подводные и надводные склоны. Покрытие обеспечивает надежность и безопасность при воздействиях на защищаемые гидротехнические сооружения потоков воды со скоростями до 7 м/с, волн высотой до 4 м и льда толщиной до 1,5 м

**Ключевые слова:** гибкое бетонное покрытие, откосы, берегоукрепление, защита подводных переходов.

**Введение.** Гибкое бетонное покрытие (ГБП) – это сборная конструкция, состоящая из отдельных бетонных блоков, соединенных между собой замоноличенным искусственным канатом. ГБП поставляется в виде отдельных плит, оснащенных соединительными элементами, для их дальнейшей сборки.

**1. Универсальные гибкие защитные бетонные маты (УГЗБМ).** В конце 90-х годов, специалистами воронежского подводно-технического предприятия была разработана версия гибкого бетонного покрытия с синтетическим арматурным канатом и размерами 2750 мм x 1230 мм с разными моделями, отличающимися по высоте.

Также, была разработана и запатентована отдельная модель гибкого покрытия, имеющая специальную выемку на торце блока, соприкасающегося с грунтом, так называемую донную присоску. Данное техническое решение запатентовано патентом № 2129635.

Модель УГЗБМ в течение многих лет применялась на различных строительных объектах страны, но с 2013 года постепенно вытесняется моделью ПБЗГУ, в которой исправлен серьезный недостаток УГЗБМ – отсутствие крепежных элементов для сборки в единое покрытие. Данный недостаток привел к нескольким аварийным ситуациям.

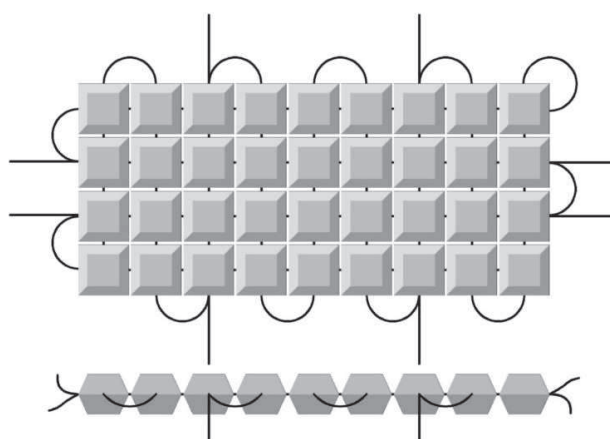


Рис. 1. Универсальные гибкие защитные бетонные маты – 105

Таблица 1

## Характеристики УГЗБМ

Модель	УГЗБМ-105	УГЗБМ-202	УГЗБМ-303	УГЗБМ-305	УГЗБМ-405
Изображение					
Габаритные размеры, мм	2813x1262x240	2813x1262x60	2813x1262x150	2813x1262x150	2813x1262x150
Площадь	3,42	3,42	3,42	3,42	3,42
Масса, кг	1 271	394	832	832	832
Разрывная нагрузка каната, кгс	5000	2000	3000	5000	5000
Марка бетона по прочности	B30 (M400)	B30 (M400)	B30 (M400)	B30 (M400)	B30 (M400)
Морозостойкость	F200	F200	F200	F200	F200
Водонепроницаемость	W6	W6	W6	W6	W6

**2. Покрытие бетонное защитное гибкое универсальное (ПБЗГУ).** Гибкое бетонное покрытие ПБЗГУ было разработано на базе покрытия УГЗБМ, где при сохранении размеров изделий были исправлены основные конструктивные недостатки (рис. 2):

- отсутствие крепежных элементов для сборки бетонных блоков в единое полотно;
- изготовление из бетона с низкими гидротехническими характеристиками (водонепроницаемость W6 и морозостойкость F200), что делает невозможным их применение в некоторых регионах страны согласно СП 131.13330.2012 «Строительная климатология».

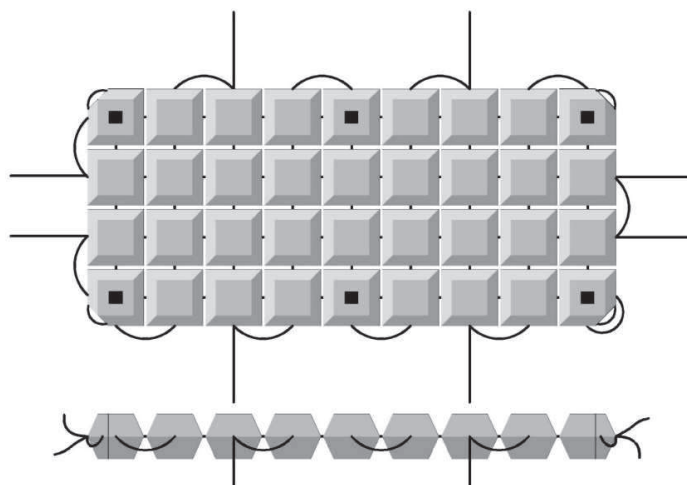


Рис. 2. Покрытие бетонное защитное гибкое универсальное –105

Применение в гибком бетонном покрытии металлических закладных деталей и дополнительных монтажных канатов позволило значительно повысить надежность покрытия и отказаться от дополнительных МТР в виде металлических анкерных скоб, а также расширить сферу применения покрытия, в том числе на объектах, где применяется геомембрана (табл. 2).

Таблица 2

#### Характеристики ПБЗГУ

Модель	ПБЗГУ-105	ПБЗГУ-202	ПБЗГУ-405
Изображение			
Габаритные размеры, мм	2813x1262x240	2813x1262x60	2813x1262x150
Площадь	3,42	3,42	3,42
Масса, кг	1269	393	831
Разрывная нагрузка каната, кгс	5000	2000	5000
Марка бетона по прочности	В 30 (400)	В 30 (400)	В 30 (400)
Морозостойкость	F300	F300	F300
Водонепроницаемость	W8	W8	W8

**3. Гибкие бетонные покрытия (ГБП).** Существуют модификации ГБП-100, ГБП-150, ГБП-200, ГБП-250 (табл. 3). В отличие от более ранних версий покрытия (ПБЗГУ и УГЗБМ), гибкое бетонное покрытие имеет соотношение сторон 2:1, что значительно упрощает укладку и сборку покрытия на объекте, а также оснащено угловыми соединительными петлями, которые обеспечивают надежное крепление отдельных плит друг к другу (рис. 3).

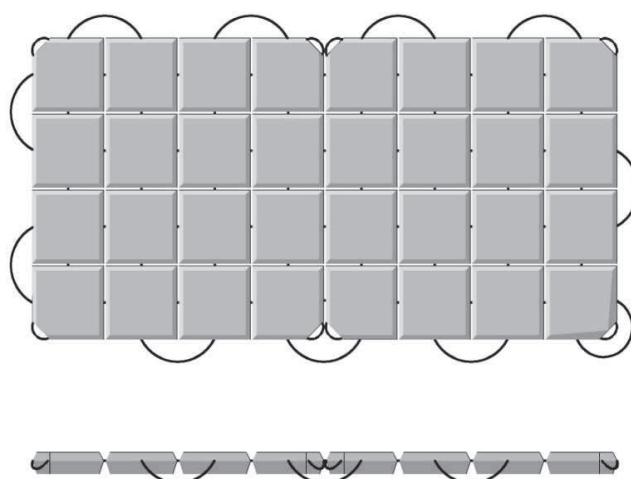


Рис. 3. Гибкие бетонные покрытия – 100

Габаритные размеры бетонных блоков, а также углы наклона боковых граней подобраны для обеспечения максимальной гибкости и прочности изделия в совокупности с высокими эстетическими свойствами покрытия.

Таблица 3

## Характеристики ГБП

Модель	ГБП-100	ГБП-150	ГБП-200	ГБП-250
Изображение				
Габаритные размеры, мм	2800x1400x100	2800x1400x150	2800x1400x200	2800x1400x250
Площадь*, кв. м	4	4	4	4
Масса, кг	763	1087	1334	1555
Разрывная нагрузка каната, кгс	3000	3000	5000	5000
Марка бетона по прочн	В 30 (400)	В 30 (400)	В 30 (400)	В 30 (400)
Морозостойкость	F300	F300	F300	F300
Водонепроницаемость	W8	W8	W8	W8

**4. Эффективность ГБП.** Строительство гидротехнических сооружений связано с выполнением большого объема работ по укреплению грунтовых откосов насыпей, подверженных разрушающему действию воды. До недавнего времени при проектировании и производстве таких работ преимущественно применяли сборные и монолитные железобетонные плиты, укладываемые на основание с обратным фильтром, габионные конструкции или набро-

ску из несортированного камня. Работы по защите от размыва насыпей инженерных сооружений, как правило, трудоёмки и необходимость их выполнения нередко значительно увеличивает сроки и стоимость строительства.

Однако в последнее время все более широкое развитие набирает применение Гибкого бетонного покрытия (ГБП).

Эффективность ГБП обусловлена не столько прочностными характеристиками составных частей изделия, сколько гибкостью изделия при минимальной величине зазора между бетонными блоками.

Благодаря минимальному зазору между соседними бетонными блоками, энергии водяного потока, воздействующего на защищаемую грунтовую поверхность через щели между бетонными блоками, оказывается недостаточно для ее размыва. Размыв грунта происходит только и исключительно под периферийными бетонными блоками. Однако в результате такого размыва периферийные бетонные блоки опускаются в каверну и меняют вектор водяного потока в зоне размыва (рис.4, 5).

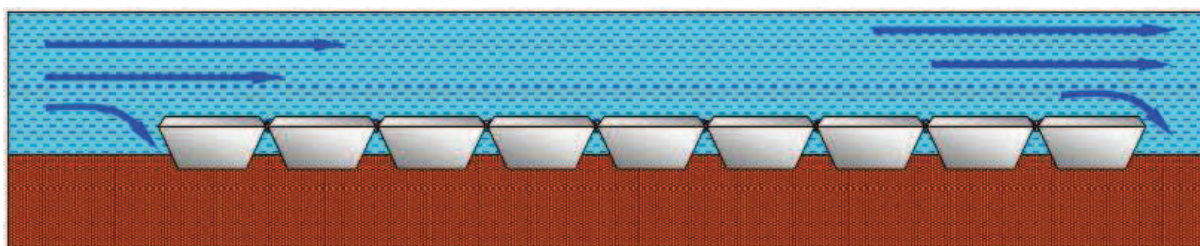


Рис. 4. Воздействие потока воды на ГБП сразу после укладки

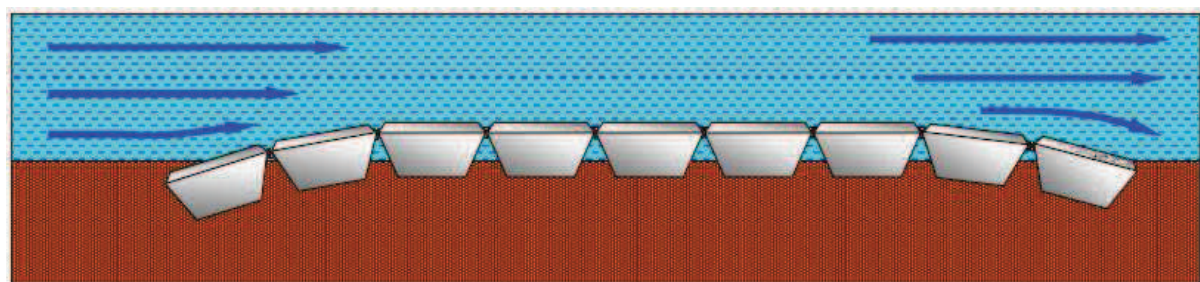


Рис. 5. Эффект самопогружения ГБП в грунт и обтекание ГТС потоками воды

**5. Эксплуатационные характеристики гибкого бетонного покрытия.** Согласно расчетам центральной лаборатории гидротехнического строительства Научно-исследовательского института транспортного строительства ОАО ЦНИИС, защитное покрытие с интегрированными узлами крепления выдерживает:

- скорости течения до 7 м/с;
- толщину льда до 2 м;
- высоту волн до 4 м.

Основные преимущества защиты инженерных сооружений гибким бетонным покрытием, по сравнению с традиционными методами, заключаются в:

- возможности покрытия принимать форму защищаемой поверхности без изгибающих моментов, что обеспечивает повышение надежности и увеличивает время эксплуатации сооружения;

- простота укладки и сборки покрытия, что существенно снижает трудозатраты;
- заводское изготовление, изделия поставляются на объект готовые к укладке;
- высокие эксплуатационные нагрузки;

- экономическая эффективность.

Несмотря на все вышесказанное, в последние несколько лет встречаются случаи разрушения защитных сооружений, выполненных с применением ГБП.

Анализ произошедших аварийных ситуаций выявил ряд причин их возникновения:

- отсутствие скрепления отдельных плит между собой в единое покрытие;
- скрепление плит П-образными металлическими скобами;
- скрепление гибких плит между собой за монтажные петли, при этом образуется значительный технологический зазор, через который происходит вымывание грунта.

Опираясь на опыт применения ГБП в гидротехническом строительстве, промышленность России в настоящее время выпускает не менее трех модификаций покрытий, отличающихся размерами и формой входящих в них блоков, а также наличием или отсутствием встроженных в конструкцию узлов скрепления отдельных плит между собой.

Так первые модификации ГБП не имеют узлов скрепления отдельных плит в единое покрытие и могут применяться только для защиты инженерных сооружений при минимальных скоростях течения и отсутствии ледовой нагрузки.

Дальнейшее развитие привело к модификации конструкции, оснащение ее узлами скрепления в виде соединительных петель, не выходящих за периметр плиты, дополнительных монтажных канатов и закладных деталей.

Последняя модификация покрытия кроме узлов скрепления отличается увеличенными размерами бетонных блоков, относительно выпускаемых ранее типоразмеров, для более эстетичного вида на защищенных откосах. Также плита имеет кратные размеры по длине и ширине, что значительно упрощает монтаж изделий.

**6. Сферы применения.** За более чем десятилетний срок крупносерийного производства гибкое бетонное покрытие нашло применение при строительстве:

- защиты гидротехнических сооружений (рис. 6);
- защиты и укрепления берегов водоемов (рис. 7);
- укрепление русел, конусов и откосов насыпей мостов (рис. 8);
- защиты трубопроводов в русловой части подводного перехода (рис. 9).



Рис. 6. Берегоукрепление у Макопской ГЭС, р. Белая



Рис. 7. Берегоукрепление Костромского водохранилища





Рис. 8. Защита опоры ЖД моста, р. Ирби



Рис. 9. Защита трубопровода

**Вывод.** Чтобы сохранить береговые линии водных объектов в первоначальных границах и свести к минимуму экологические и техногенные риски при освоении прибрежных территорий, необходимы новые надежные средства берегоукрепления. Одним из таких средств является гибкое бетонное покрытие.

Так же накопленный опыт проектирования, строительства и эксплуатации ГБП для защиты грунтовых откосов инженерных сооружений от размыва позволяет рекомендовать их широкое применение в дорожном строительстве.

#### Библиографический список

1. [Электонный ресурс] <http://xn--1-itbvhdhbe1c.xn--p1ai/>.
2. Методические рекомендации по проектированию и строительству защиты от размыва грунтовых откосов инженерных сооружений из покрытия бетонного защитного гибкого универсального (ПБЗГУ), разработаны и введены в действие ОАО ЦНИИС, Москва, 2012 г.
3. Типовая серия 3.501.1-190.16 «Укрепления русел, конусов и откосов насыпей у малых и средних мостов из гибкого бетонного покрытия», разработана и введена в действие ОАО «Трансмост», Санкт-Петербург, 2016 г.
4. **Пустовалов, А. П.** Повышение энергоэффективности инженерных систем зданий посредством оптимального выбора регулирующих клапанов / А. П. Пустовалов, Д. Н. Китаев, Т. В. Щукина // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Высокие технологии. Экология. – 2015. – № 1. – С. 187-191.
5. **Петрикеева, Н. А.** Пути снижения энергопотребления зданиями / Н. А. Петрикеева, А. Н. Садовников, А. В. Никулин // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. – 2012. – № 1. – С. 13–17.
6. **Лобода, А. В.** Определение скоростных полей воздушных потоков в вентилируемых помещениях с помощью конформных отображений / А. В. Лобода, С. В. Чуйкин // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. – 2012. – № 4 (28). – С. 23-31.
7. **Булыгина, С. Г.** Новое и перспективное оборудование для создания микроклимата в ресторанных комплексах / С. Г. Булыгина, О. А. Сотникова // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. – 2012. – № 1. – С. 70-80.
8. **Колосова, Н. В.** Теплообмен между газожидкостной смесью и охлаждающим элементом в теплообменных аппаратах / Н. В. Колосова, К. Н. Лапшина // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 2. – С. 82.
9. **Чудинов, Д. М.** Разработка новых интеллектуальных светопрозрачных ограждающих конструкций зданий / Д. М. Чудинов, К. Н. Сотникова, К. С. Щербаков, Ю. А. Черноухова // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. – 2010. – № 1. – С. 93-97.

#### References

1. [Jelektonnyj resurs] <http://xn--1-itbvhdhbe1c.xn--p1ai/>.

2. Metodicheskie rekomendacii po proektirovaniyu i stroitel'stvu zashhity ot razmyva gruntovykh ot-kosov inzhenernykh sooruzhenij iz pokrytija betonnoho zashhitnogo gibkogo universal'nogo (PBZGU), razrabotany i vvedeny v dejstvie OAO CNIIS, Moskva, 2012 g.

3. Tipovaja serija 3.501.1-190.16 «Ukrepjenija rusel, konusov i otkosov nasypej u malyh i srednih mostov iz gibkogo betonnoho pokrytija», razrabotana i vvedena v dejstvie OAO «Transmost», Sankt-Peterburg, 2016 g.

4. **Pustovalov, A. P.** Povyshenie jenergojefektivnosti inzhenernykh sistem zdaniy posredstvom op-timal'nogo vybora regulirujushhix klapanov / A. P. Pustovalov, D. N. Kitaev, T. V. Shhukina // Nauchnyj vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Serija: Vysokie tehnologii. Jekologija. – 2015. – № 1. – S. 187-191.

5. **Petrikeeva, N. A.** Puti snizhenija jenergotreblenija zdaniyami / N. A. Petrikeeva, A. N. Sadovnikov, A. V. Nikulin / Nauchnyj zhurnal. Inzhenernye sistemy i sooruzhenija. – 2012. – № 1. – S. 13–17.

6. **Loboda, A. V.** Opredelenie skorostnykh polej vozdušnykh potokov v ventiliruemyh pomeshhenijah s pomoshh'ju konformnykh otobrazhenij / A. V. Loboda, S. V. Chujkin // Nauchnyj vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Stroitel'stvo i arhitektura. – 2012. – № 4 (28). – S. 23-31.

7. **Bulygina, S. G.** Novoe i perspektivnoe oborudovanie dlja sozdaniya mikroklimata v restorannykh kompleksah / S. G. Bulygina, O. A. Sotnikova // Nauchnyj zhurnal. Inzhenernye sistemy i sooruzhenija. – 2012. – № 1. – S. 70-80.

8. **Kolosova, N. V.** Teploobmen mezhdru gazozhidkostnoj smes'ju i ohlazhdajushhim jelementom v teploobmennyykh apparatah / N. V. Kolosova, K. N. Lapshina // Sovremennyye problemy nauki i obrazovanija. – 2014. – № 2. – S. 82.

9. **Chudinov, D. M.** Razrabotka novyx intellektual'nykh svetoprozrachnykh ograzhdajushhix konstrukcij zdaniy / D. M. Chudinov, K. N. Sotnikova, K. S. Shherbakov, Ju. A. Chernouhova // Nauchnyj zhurnal. Inzhenernye sistemy i sooruzhenija. – 2010. – № 1. – S. 93-97.

## SAVINGS RESOURCES CONSTRUCTION PROTECTION FROM WASH OUT

K. G. Buravleva, A. N. Buravlev, T. V. Gurov

---

*Voronezh State Technical University*

*K. G. Buravleva, master of Dept. of Heat and Gas Supply and Oil and Gas Business*

*Russia, Voronezh, tel.: +7 (473) 271-53-21, e-mail: teplosnab\_kaf@vgasu.vrn.ru*

*A. N. Buravlev, student of Dept. of Construction and Operation of Highways*

*Russia, Voronezh, tel.: +7 (473) 271-53-21, e-mail: teplosnab\_kaf@vgasu.vrn.ru*

*T. V. Gurov, master of Dept. of Heat and Gas Supply and Oil and Gas Business*

*Russia, Voronezh, tel.: +7 (473) 271-53-21, e-mail: teplosnab\_kaf@vgasu.vrn.ru*

---

**Statement of the problem.** To date, flexible concrete coatings are one-piece construction, collected from separate flexible concrete slabs. Slabs are manufactured at the factory. Each plate consists of a plurality of individual concrete blocks interconnected rendered monolithic synthetic rope. Concrete blocks have the form of two truncated pyramids, interconnected over a larger base. Lower block plane has a greater surface roughness than the upper. Accordingly, when laying the flexible concrete pavement on the hard surface is eroded significantly increases the stability of the coating due to the increased resistance.

**Results and conclusions.** The flexible concrete coating works on the slope of ground facilities on the principle of a flexible screen and at relatively low cost material for its production and a minimum weight protects against erosion and wind waves over the underwater and surface slopes. The coating provides the reliability and safety impacts on protected waterworks water streams at speeds up to 7 m / s, wave height of 4 m and ice thickness of up to 1.5 m

**Keywords:** flexible concrete cover, slopes, bank protection, the protection of underwater passages.

*Для цитирования: Буравлева, К. Г. Современные конструкции защиты грунтовых откосов инженерных сооружений от размыва / К. Г. Буравлева, А. Н. Буравлев, Т. В. Гурова // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. – 2017. – № 2 (7). – С. 51-58.*

*For citation: Buravleva, K. G. Savings resources construction protection from wash out / K. G. Buravleva, A. N. Buravlev, T. V. Gurov // Gradostroitelstvo. Infrastruktura. Kommunikatsii. – 2017. – № 2 (7). – Pp. 51-58.*

## СТРОИТЕЛЬСТВО И ЭКСПЛУАТАЦИЯ НЕФТЕГАЗОПРОВОДОВ, БАЗ И ХРАНИЛИЩ

УДК 622.691.4

### АНАЛИЗ ПЕРСПЕКТИВНЫХ СПОСОБОВ ПРОКЛАДКИ МАГИСТРАЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ В БОЛОТИСТОЙ МЕСТНОСТИ

Г. А. Кузнецова, М. М. Островская

*Воронежский государственный технический университет*

*Г. А. Кузнецова, канд. техн. наук, доцент кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела*

*Россия, г. Воронеж, тел.: +7(473)271-53-21, e-mail: ga\_kuzn@mail.ru*

*М. М. Островская, студент кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела*

*Россия, г. Воронеж, тел.: +7(473)271-53-21, e-mail: masha\_ostrov@mail.ru*

**Постановка задачи.** Одной из главных проблем при проектировании и строительстве газопроводов является способ их прокладки через болотистые местности. Каждый из существующих на сегодняшний день вариантов прокладки трубопровода имеет определенный порядок и темп строительного-монтажных работ, а также различные экономические затраты. В связи с этим вопрос о том, какой способ строительства газопровода в болотистой местности выбрать, становится актуальным.

**Результаты.** Рассмотрены подземный и наземный способы прокладки газопроводов в болотистой местности, определены их преимущества и недостатки.

**Выводы.** Достоинствами подземной прокладки является обеспечение относительно постоянного температурного режима и герметичности газопровода, защищенность от внешних воздействий. Недостатком является увеличенный объем работ по сравнению с наземным способом прокладки. Наземный способ характеризуется меньшими затратами при строительстве и простотой дальнейших ремонтных работ.

**Ключевые слова:** газопроводы, железобетонные утяжелители, анкерные устройства, наземная прокладка.

**Введение.** Магистральные газопроводы в Западной Сибири и в северной части России начали строить примерно 60 лет назад. Изначально проектировщики, строители и эксплуатационные организации столкнулись с проблемой прокладки газопроводов в болотистой местности.

Болота занимают 40 % всей территории Западной Сибири. По проходимости болота можно разделить на три типа [4]:

- I тип – возможен проход болотной техники, создающей давление 20-30 кПа, и обычной техники с помощью щитов, саней и насыпей, обеспечивающих снижение давления на поверхность торфяной толщи до 20 кПа;
- II тип – техника проходит только с помощью приспособлений, снижающих давление до 10 кПа;
- III тип – возможна работа только плавающей техники.

Согласно СТО Газпром 2-2.1-249-2008 [9], на болотах и заболоченной местности газопровод прокладывается подземно. При этом – для предотвращения всплытия участки газопроводов балластируют навесными грузами, а также закрепляют винтовыми, гарпунными

или раскрывающимися в минеральном грунте анкерами. Прокладка трубопроводов по поверхности земли в насыпи (наземная прокладка) допускается только как исключение при соответствующем технико-экономическом обосновании. При этом должна быть обеспечена прочность газопровода, общая устойчивость его в продольном направлении и против всплывания, а также защита от теплового воздействия.

**1. Утяжеление трубопровода.** Утяжеление трубопровода осуществляют железобетонными грузами, бетонированием труб, грунтом.

Для балластировки газопроводов, сооружаемых в сложных условиях, могут быть использованы утяжелители нескольких типов [8]:

- охватывающие трубопровод по боковым образующим (рис. 1);
- седловидные, опирающиеся на трубопровод (рис. 2);
- кольцевые (рис. 3).



Рис.1. Железобетонный утяжелитель типа УБО



Рис. 2. Железобетонный утяжелитель типа 1-УБКм



Рис. 3. Железобетонный утяжелитель типа УТК

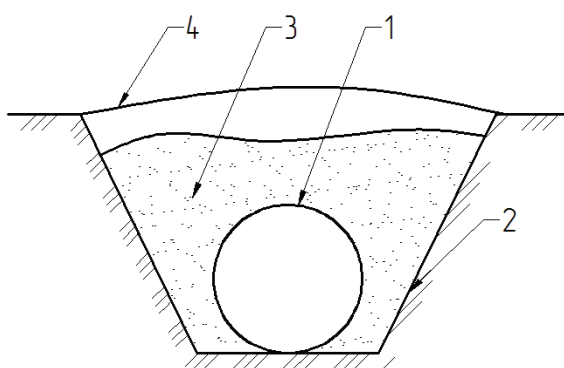
Железобетонные утяжелители типа УБО (рис. 1) состоят из двух железобетонных блоков и двух металлических, защищенных изоляционным противокоррозионным покрытием, или мягких, изготовленных из прочного долговечного синтетического материала, соединительных поясов. Утяжелители типа УБО устанавливаются на газопроводе по одному через равные расстояния между ними или групповым методом.

Опирающиеся на трубопроводы железобетонные утяжелители типа 1-УБКм можно использовать для балластировки газопроводов в зимних и летних условиях на переходах через болота с мощностью торфяной залежи, не превышающей глубины траншеи. 1-УБКм (рис. 2)

представляет собой конструкцию седловидного типа. Необходимая устойчивость утяжелителей обеспечивается только в том случае, если в основании траншеи находятся минеральные грунты.

Кольцевые железобетонные утяжелители типа УТК (рис. 3) рекомендуется применять в летний период на переходах через болота при сооружении их методом сплава или протаскивания. Установка УТК на трубопровод осуществляется непосредственно перед протаскиванием его через болото или заболоченные участки.

При утяжелении газопровода грунтом (рис. 4) последний обрабатывают специальным связывающим материалом - отходом переработки нефти. Исследования показали, что грунт, смешанный с таким материалом, через некоторое время образует прочный конгломерат, схватывающийся и с трубой, и со стенками траншеи. Применяют этот метод на участках земель не сельскохозяйственного назначения и бросовых земель.



**Рис. 4.** Способ балластировки газопроводов закрепленным грунтом: 1 – трубопровод; 2 – траншея; 3 – закрепленный грунт; 4 – рекультивируемый слой грунта

Обетонирован полиэтиленовой или металлополимерной оболочке для использования их при строительстве, реконструкции и ремонте магистральных газопроводов на подводных и болотистых участках.

Новый способ балластировки имеет следующие преимущества:

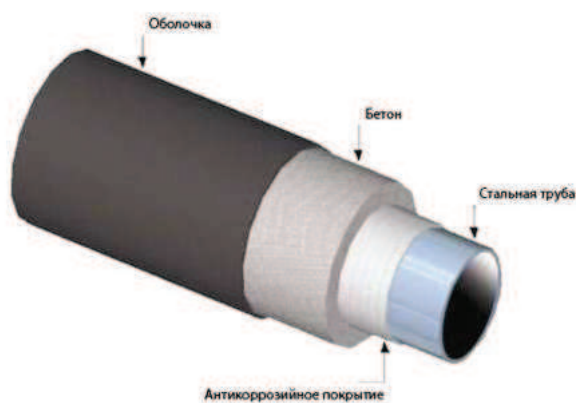
- равномерное распределение по длине трубы нагрузки утяжеления (вместо циклической при использовании навесных утяжелителей);
- при заделке сварных стыков термоусаживающимися муфтами подводных обетонированных трубопроводов исключается свободное проникновение воды к телу изолированной стальной трубы, что обеспечивает повышение антикоррозионной стойкости конструкции;
- обеспечивается необходимое заглубление балластной трубы с нулевой выталкивающей силой и отрицательной плавучестью;
- снижается толщина стенки трубы;
- значительно повышается срок жизни и экологическая безопасность газопроводов за счет дополнительной защиты оболочкой и бетоном, который одновременно является балластом;
- обеспечена балластировка фасонных частей трубопроводов (гнутых отводов, переходов);
- осуществляется нанесение балластного покрытия в заводских условиях, что обеспечивает сохранность изоляции газопроводов и упрощает их укладку на местах.

**2. Закрепление анкерами.** Закрепление трубопровода анкерами выполняется тремя основными способами: завинчиванием, забивкой и выстреливанием [1].

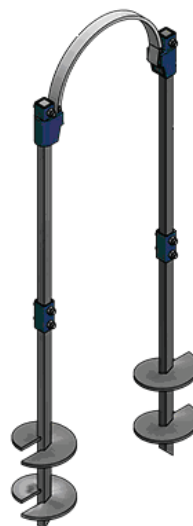
При закреплении газопровода анкерными устройствами лопасть анкера не должна находиться в слое торфа, заторфованного грунта, пылеватого песка или других грунтов, не обеспечивающих надежное закрепление анкера, а также в слое грунта, структура которого

может разрушиться или нарушиться в результате оттаивания, размывов, выветривания, подработки или других причин.

Завинчивание анкеров осуществляется после укладки трубопровода на дно траншеи. При закреплении магистрального газопровода винтовыми анкерными устройствами (рис. 6) используются: винтовые анкерные устройства типа ВАУ-1, состоящие из двух винтовых лопастей, двух анкерных тяг с наконечниками и силового пояса; футеровочные маты; предохранительные защитные коврики, изготавливаемые из одного или двух слоев геотекстильного полотна НСМ. Коврики защищают изоляционное покрытие трубопровода от повреждения в процессе монтажа закрепления анкеров соединительными поясами, а также в процессе эксплуатации трубопровода при возможных его перемещениях.

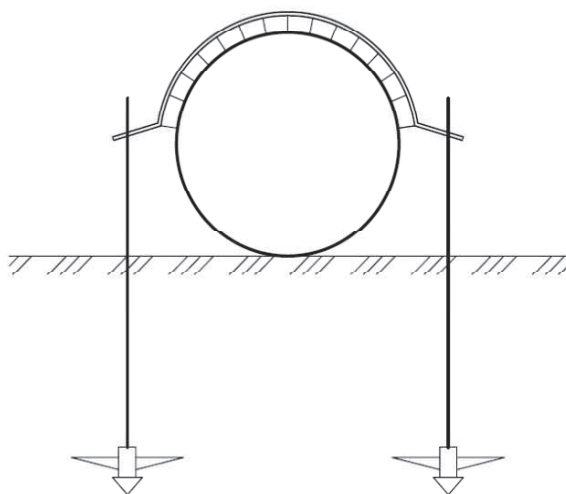


**Рис. 5.** Конструкция трубы с балластным покрытием в оболочке

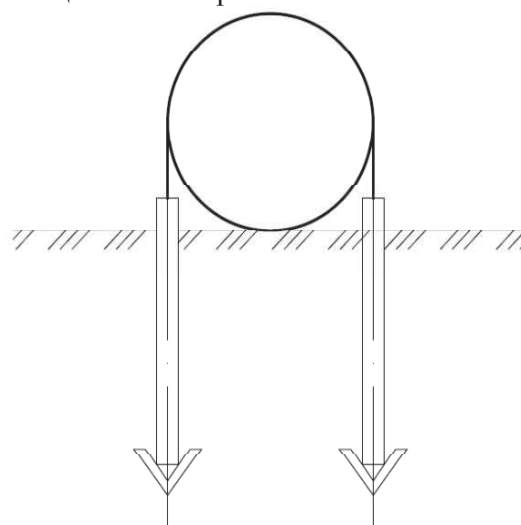


**Рис. 6.** Конструкция винтового анкерного устройства ВАУ-1

Забивные анкеры с раскрывающимися лопастями (рис. 7) представляют собой трубу диаметром 8–15 см и длиной 5–7 м с прикрепленными на нижнем конце шарнирно лопастями. Трубопровод крепится к анкерам специальным силовым поясом, представляющим металлическую ленту шириной от 20 до 70 см. Под ленту подкладывается мягкий материал для более равномерного распределения давления на изоляционное покрытие.



**Рис. 7.** Раскрывающееся анкерное устройство



**Рис. 8.** Конструкция гарпунного анкерного устройства

Гарпунные анкеры (рис. 8) следует применять для закрепления трубопроводов диаметром до 720 мм включительно. Выстреливаемые анкеры представляют собой патрубки длиной 1-1,5 м и диаметром до 7 см с прикрепленными к их концам гибкими металлическими прутками. Оголовки патрубков имеют острия и лепестки или лопасти, раскрывающиеся при вытягивании патрубков на 15-20 см вверх. При выстреливании патрубков-снаряд погружается в грунт на 3-5 м. С помощью гибких прутков трубопровод, закрепляют в необходимом положении [3].

Об объемах балластировки газопроводов можно судить по следующим данным. Газопровод Уренгой – Нижняя Тура – Петровск имеет общую протяженность 2731 км, из них забалластировано 582 км, при этом 52 % участков забалластировано железобетонными грузами и 48 % – анкерами. Газопровод Уренгой – Новопсков имеет общую протяженность 3341,2 км, из них – забалластировано 594 км (53 % участков забалластировано железобетонными грузами, 47 % – анкерами). Газопровод Уренгой – Ужгород имеет общую протяженность 4550 км, из них забалластировано 910 км (70 % участков забалластировано железобетонными грузами, 30 % – анкерами) [6].

**3. Наземная прокладка.** Прокладка газопроводов в насыпях осуществляется на поверхность торфа, предварительно подготовив выстилку из мелколеся. Выстилка покрывается слоем местного или привозного грунта толщиной не менее 25 см, по которому укладывается газопровод [9].

При наземной прокладке в насыпи газопровод может пересекать болото путем изменения подземного способа на наземный (рис. 9а). Геометрические параметры насыпи определяются расчетом в зависимости от эксплуатационных нагрузок и воздействий (рис. 9б).

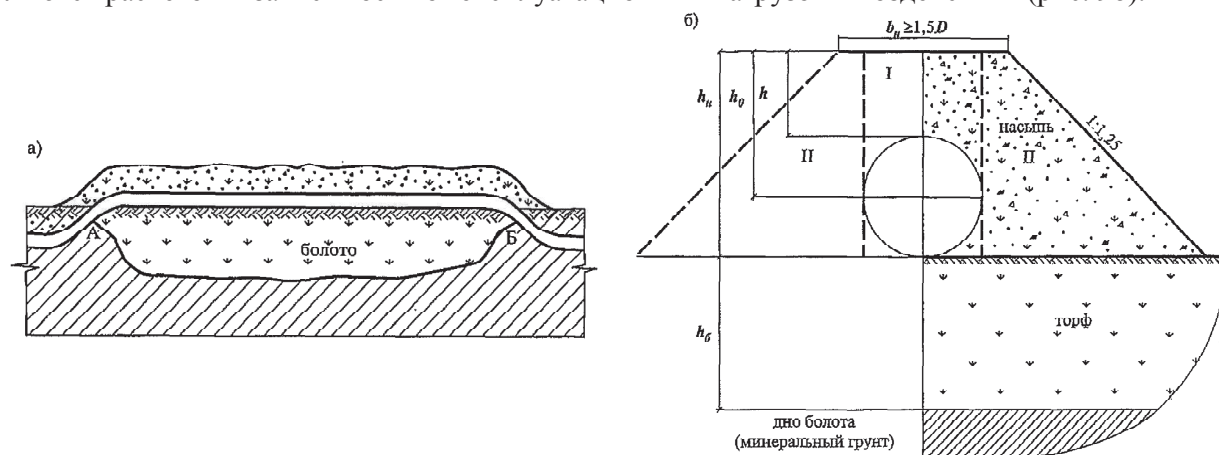


Рис. 9. Пересечение трубопроводом болота в насыпи (а) и основные обозначения положения трубы в насыпи (б)

Минимальные размеры насыпи:

- толщина слоя грунта над газопроводом не менее 0,8 м с учетом уплотнения грунта в результате осадки;
- ширина насыпи поверху равной 1,5 диаметра газопровода, но не менее 1,5 м;
- откосы насыпи в зависимости от свойств грунта, но не менее 1:1,25.

Прокладка газопровода через болота в насыпи имеет следующие положительные свойства [5]:

1. Не требуется рытье траншеи, что при постоянно высоком уровне грунтовых вод выполнить довольно сложно. Технология работ легче и проще.
2. Не требуется балластировка трубопровода утяжелителями или анкерами, что снижает стоимость строительства и увеличивает темп работ.

3. Нет необходимости обеспечивать общую устойчивость трубопровода в продольном направлении, так как при наземной прокладке плавающих участков и арок выброса не может быть в принципе, поскольку продольно-поперечные перемещения трубопровода будут происходить в горизонтальной плоскости по поверхности болота под насыпью.

4. Общая стоимость и продолжительность строительства трубопровода на переходе через болото в насыпи являются наименьшими.

5. Трубопровод в насыпи и его арматуру легче всего эксплуатировать и ремонтировать, что весьма важно для эксплуатационной службы. Ремонт самой насыпи, в случае такой необходимости, выполнить значительно легче и дешевле, чем ремонт и обеспечение проектного подземного положения.

Недостатком метода является сложный вид работ по подготовке основания под трубопровод [7], его обвалованию и устройство дорогостоящей лежневой дороги. Наземную прокладку трубопроводов на болотах целесообразно производить в глухих отдаленных районах, где нет дорог, с тем, чтобы использовать лежневую дорогу для строительства трубопровода и после окончания строительства в качестве эксплуатационной [2]. Незащищенность от внешнего воздействия и опасность нарушения герметичности газопровода в насыпи больше, чем у подземного газопровода. Также к недостаткам можно отнести и необходимость обеспечить безопасность людей и экологии в случае нарушения герметичности газопровода. Однако эта постоянная опасность характерна в равной мере и для подземных трубопроводов.

**Вывод.** В работе выполнен анализ способов прокладки магистральных газопроводов в болотистой местности. В работе рассмотрены основные способы прокладки газопровода в болотистой местности: подземный и наземный. Выбор способа должен определяться технико-экономическим сравнением этих двух вариантов в зависимости от инженерно-геологических условий местности. Преимуществами подземной прокладки является обеспечение относительно стабильного температурного режима газопровода, а также защита от внешних воздействий, но процесс строительства отличается большими денежными и временными затратами (особенно в летний период). Наземный способ прокладки отличает отсутствие необходимости в рытье траншеи и балластировке, что является экономичнее по сравнению с подземным способом. При прокладке трубопровода в насыпи процесс строительства проще и занимает меньше времени. К недостаткам можно отнести неустойчивость насыпи, при её некачественном исполнении, незащищенность от внешних воздействий и повышенные требования по обеспечению безопасности людей и окружающей среды в случае нарушения герметичности газопровода. Есть мнение, что наземную прокладку применяют реже из-за консерватизма проектировщиков и излишне жесткой трактовки обязательности подземной прокладки.

#### Библиографический список

1. **Бородавкин, П. П.** Сооружение магистральных трубопроводов. Учебник для вузов / П. П. Бородавкин, В. Л. Березин. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1987. – 471 с.
2. **Вержбицкий, В. В.** Сооружение и эксплуатация газонефтепроводов и газонефтехранилищ: учебное пособие / В. В. Вержбицкий, М. В. Собчук. - Ставрополь: Изд-во СКФУ, 2014. – 149 с.
3. **ВСН 2-136-81.** Миннефтегазстрой. Инструкция по выбору и применению различных типов утяжеляющих грузов и анкерных устройств для закрепления магистральных трубопроводов против всплытия. - М.: ВНИИСТ, 1989. – 16 с.
4. **Гноевых, А. Н.** Справочник монтажника буровых установок / А. Н. Гноевых, А. Н. Лобкин, В. Ф. Абубакиров и др. - Москва: ОАО «Издательство «Недра», 1997. – 491 с.
5. **Димов, Л. А.** Магистральные трубопроводы в условиях болот и обводненной местности/ Л. А. Димов, Е. М. Богушевская. - М.: Издательство «Горная книга», Издательство Московского государственного горного университета, 2010. – 392 с.
6. **Иванцов, О. М.** Надежность строительных конструкций магистральных трубопроводов/ О. М. Иванцов. - М.: Недра, 1985. – 231 с.



7. Система нормативных документов в строительстве Свод Правил. Свод правил по сооружению магистральных трубопроводов. Производство земляных работ: СП 104-34-96. - Издание официальное. - М.: ООО ИРЦ Газпром, 1996. - 23 с.

8. **СТО Газпром 2-2.1-249-2008.** Магистральные газопроводы. - Издание официальное. - М.: ООО ИРЦ Газпром, 2008. - 239 с.

#### References

1. **Borodavkin, P. P.** Sooruzhenie magistral'nyh truboprovodov. Uchebnik dlja vuzov / P. P. Borodavkin, V. L. Berezin. - 2-e izd., pererab. i dop. - M. : Nedra, 1987. - 471 s.

2. **Verzhbickij, V. V.** Sooruzhenie i jekspluatacija gazonefteprovodov i gazoneftehranilishh: uchebnoe posobie / V. V. Verzhbickij, M. V. Sobchuk. - Stavropol': Izd-vo SKFU, 2014. - 149 s.

3. **VSN 2-136-81.** Minneftegazstroj. Instrukcija po vyboru i primeneniju razlichnyh tipov utjazheljajushhih gruzov i ankernyh ustrojstv dlja zakreplenija magistral'nyh truboprovodov protiv vsplytija. - M. : VNIIST, 1989. - 16 s.

4. **Gnoevyh, A. N.** Spravochnik montazhnika burovyh ustanovok / A. N. Gnoevyh, A. N. Lobkin, V. F. Abubakirov i dr. - Moskva: OAO «Izdatel'stvo «Nedra», 1997. - 491 s.

5. **Dimov, L. A.** Magistral'nye truboprovody v uslovijah bolot i obvodnennoj mestnosti / L. A. Dimov, E. M. Bogushevskaja. - M.: Izdatel'stvo «Gornaja kniga», Izdatel'stvo Moskovskogo gosudarstvennogo gornogo universiteta, 2010. - 392 s.

6. **Ivanov, O. M.** Nadezhnost' stroitel'nyh konstrukcij magistral'nyh truboprovodov / O. M. Ivanov. - M.: Nedra, 1985. - 231 s.

7. Sistema normativnyh dokumentov v stroitel'stve Svod Pravil. Svod pravil po sooruzheniju magistral'nyh truboprovodov. Proizvodstvo zemljanyh rabot: SP 104-34-96. - Izdanie oficial'noe. - M.: ООО IRC Gazprom, 1996. - 23 s.

8. **СТО Газпром 2-2.1-249-2008.** Magistral'nye gazoprovody. - Izdanie oficial'noe. - M.: ООО IRC Gazprom, 2008. - 239 s.

## ANALYSIS OF PERSPECTIVE METHODS OF GASKETS GAS PIPELINES IN THE MOLECULAR LOCATION

G. A. Kuznetsova, M. M. Ostrovskaya

---

*VoronezhStateTechnicalUniversity*

*G. A. Kuznetsova, PhD in Engineering, Assoc. Prof. of Dept. of Heat and Gas Supply and oil and gas business  
Russia, Voronezh, tel.: +7 (473) 271-53-21, e-mail: ga\_kuzn@mail.ru*

*M. M. Ostrovskaya, student of Dept. of Heat and Gas Supply and oil and gas business  
Russia, Voronezh, tel.: +7 (473) 271-53-21, e-mail : masha\_ostrov@mail.ru*

---

**Statement of the problem.** One of the main problems in the design and construction of gas pipelines is their method of construction through wetlands. Each of the currently existing variants of laying the pipeline has a certain order and the pace of construction and installation works, and different economic costs. In this regard, the question of which way the construction of the gas pipeline in marshland choose becomes relevant.

**Results.** Considered ways of underground and above ground gas pipeline in marshland, identified their strengths and weaknesses.

**Conclusions.** The advantages of the underground installation is to provide a relatively constant temperature and tightness of pipeline protection from external influences. The disadvantage is the increased amount of work compared to the terrestrial way pad. Ground method characterized by reduced cost and simplicity in the construction of further repair.

**Keywords:** gas pipelines, concrete weights, anchors, ground pad.

*Для цитирования: Кузнецова, Г. А. Анализ перспективных способов прокладки магистральных газопроводов в болотистой местности / Г. А. Кузнецова, М. М. Островская // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. - 2017. - № 2 (7). - С. 59-65.*

*For citation: Kuznetsova, G. A. Analysis of perspective methods of gaskets gas pipelines in the molecular location / G. A. Kuznetsova, M. M. Ostrovskaya // Gradostroitelstvo. Infrastruktura. Kommunikatsii. - 2017. - № 2 (7). - Pp. 59-65.*

УДК 625.748.54

## РАСЧЕТ ВРЕМЕНИ САМОТЕЧНОГО СЛИВА СВЕТЛЫХ НЕФТЕПРОДУКТОВ НА АВТОЗАПРАВОЧНЫХ СТАНЦИЯХ

Н. А. Русанов, Д. Н. Китаев

*Воронежский государственный технический университет**Н. А. Русанов, магистрант теплогазоснабжения и нефтегазового дела**Россия, г. Воронеж, тел. +7(473)271-53-21, e-mail: dim.kit@rambler.ru**Д. Н. Китаев, канд. техн. наук доцент кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела**Россия, г. Воронеж, тел. +7(473)271-53-21, e-mail: dim.kit@rambler.ru*

**Постановка задачи.** Доставка топлива на городские автозаправочные станции осуществляется автоцистернами различной вместительности и влияет на процесс загрузки транспортной инфраструктуры. Как правило, слив светлых нефтепродуктов осуществляется самотеком в резервуары, расположенные на территории автозаправочных станций. Время, затраченное на слив топлива, пребывание автоцистерны на АЗС, является важным логистическим параметром, необходимым при планировании перевозок.

**Результаты.** Проведены расчеты времени самотечного слива бензина из различных типов автоцистерн в горизонтальные резервуары АЗС емкостью от 5 до 50 м<sup>3</sup>. Установлено, что максимальное и минимальное время слива отличаются незначительно для каждого резервуара. Получены среднененные значения.

**Выводы.** Получено уравнение в виде полинома третьей степени, позволяющее рассчитывать время самотечного слива бензина в горизонтальные резервуары в зависимости от эксплуатационного объема автоцистерны.

**Ключевые слова:** автозаправочные станции, автоцистерны, резервуары, самотечный слив.

**Введение.** Автозаправочные станции являются неотъемлемой частью инфраструктуры современных городов [1]. Доставка топлива на городские АЗС осуществляется автоцистернами различной вместительности и влияет на процесс загрузки транспортной инфраструктуры. Как правило, слив светлых нефтепродуктов осуществляется самотеком в резервуары, расположенные на территории автозаправочных станций. Время, затраченное на слив топлива, пребывание автоцистерны на АЗС, является важным логистическим параметром, необходимым при планировании перевозок.

**1. Особенности методики расчета.** Расчет времени самотечного слива топлива из автоцистерн в резервуары разного объема под уровень достаточно сложен [2, 3, 11]. На практике возникает необходимость численной реализации алгоритма на ЭМВ.

Время полного слива автоцистерны  $\tau$ , с находится по формуле

$$\tau = \frac{\pi L_{ц} AB}{f_m v_{cp}}, \quad (1)$$

где  $L_{ц}$ ,  $A$ ,  $B$  –  $L_{ц}$  длина, большая и малая ось эллипсовидной автоцистерны соответственно, м; площадь сечения сливного трубопровода  $f_m$ , м<sup>2</sup>;  $v_{cp}$  – средняя скорость нефтепродукта в приемном трубопроводе, м/с.

Определяющее значение в выражении (1) играет скорость, которая определяется как среднее арифметическое начальной и конечной скорости слива. Скорость слива является нестационарной величиной, так как с течением времени изменяется уровень жидкости, как в автоцистерне, так и в приемном резервуаре, может изменяться режим движения.

В процессе расчета времени слива приходится решать трансцендентные уравнения вида [3]

:

$$\frac{V}{d_p^2 L_p} = 0,25 \arcsin 2\sqrt{\bar{z}(1-\bar{z})} - (0,5 - \bar{z})\sqrt{\bar{z}(1-\bar{z})} \text{ при } \bar{z} < 0,5; \quad (2)$$

$$\frac{V}{d_p^2 L_p} = 0,25 \left[ \pi - \arcsin 2\sqrt{\bar{z}(1-\bar{z})} + 4(\bar{z} - 0,5)\sqrt{\bar{z}(1-\bar{z})} \right] \text{ при } \bar{z} \geq 0,5, \quad (3)$$

где  $V$  – изменяющийся объем нефтепродукта в резервуаре,  $\text{м}^3$ ;  $d_p, L_p$  – диаметр и длина приемного цилиндрического резервуара,  $\text{м}$ ;  $\bar{z}$  – относительный уровень в резервуаре.

**2. Алгоритм расчета и его реализация.** С целью реализации алгоритма расчета самоотечного слива светлых нефтепродуктов была создана программа на алгоритмическом языке Visual Basic for Application (VBA) [4], реализующая разветвленный циклический алгоритм [5]. Блок-схема алгоритма представлена на рис. 1.

*Блок 1.* Ввод исходных данных: длина  $l_m$  и диаметр  $d_m$  приемного трубопровода АЗС; длина  $l$  и диаметр  $d$  рукава автоцистерны; длина  $l_0$  и диаметр  $d_0$  сливного патрубков; расстояние по вертикали между нижней образующей автоцистерны и поверхностью нефтепродукта в приемном резервуаре в момент начала слива  $h(0)$ ; сумма местных сопротивлений  $\Sigma\xi$ ; плотность бензина  $\rho_6$ ; начальный уровень бензина в резервуаре АЗС  $z_p(0)$ ; эквивалентная шероховатость  $K_s$ ; размеры малой оси  $B$ , большой оси  $A$ , и длина автоцистерны  $L_u$ ; диаметр  $d_p$  и длина  $L_p$  приемного резервуара; атмосферное давление  $P_a$ ; давление насыщенных паров бензина  $P_s$ ; кинематическая вязкость бензина  $\nu = 0,7 \cdot 10^{-6}$ ; регулируемое давление дыхательного клапана  $P_{кд.А}$ ; коэффициент Лейбензона  $m$  [6, 7, 10].

*Блок 2.* Расчет величин, входящих в трансцендентные уравнения (2), (3). Вычисляются значения коэффициента гидравлического сопротивления рукава автоцистерны  $\lambda_y$ , значение функции  $f(A_*)$ , коэффициент расхода сливной коммуникации  $\mu_{pa}$ , относительный уровень в резервуаре  $\bar{z}(0)$  в зависимости от коэффициента  $m$ . В зависимости от значения  $\bar{z}(0)$  определяются начальный уровень бензина  $V(0)$  в приемном резервуаре, объем бензина в приемном резервуаре  $V$ .

*Блок 3.* Решение уравнений вида (2), (3) с заданной точностью методом дихотомии [5].

*Блок 4.* Пересчет характеристик сливной коммуникации. Рассчитываются значения изменения высоты в резервуаре  $\Delta z_p$ , средняя скорость бензина  $v_{cp}$ , в приемном трубопроводе, устанавливается фактический режим движения, определяется новое значение коэффициента расхода сливной коммуникации  $\mu_{pa}^*$ . При разнице  $|\mu_{pa} - \mu_{pa}^*| \leq 0,01$  переходим к блоку 5, в противном случае, возвращаемся к блоку 2.

*Блок 5.* Расчет времени слива. Определяется площадь сечения сливного трубопровода  $f_m$  и время полного слива автоцистерны  $\tau$ .

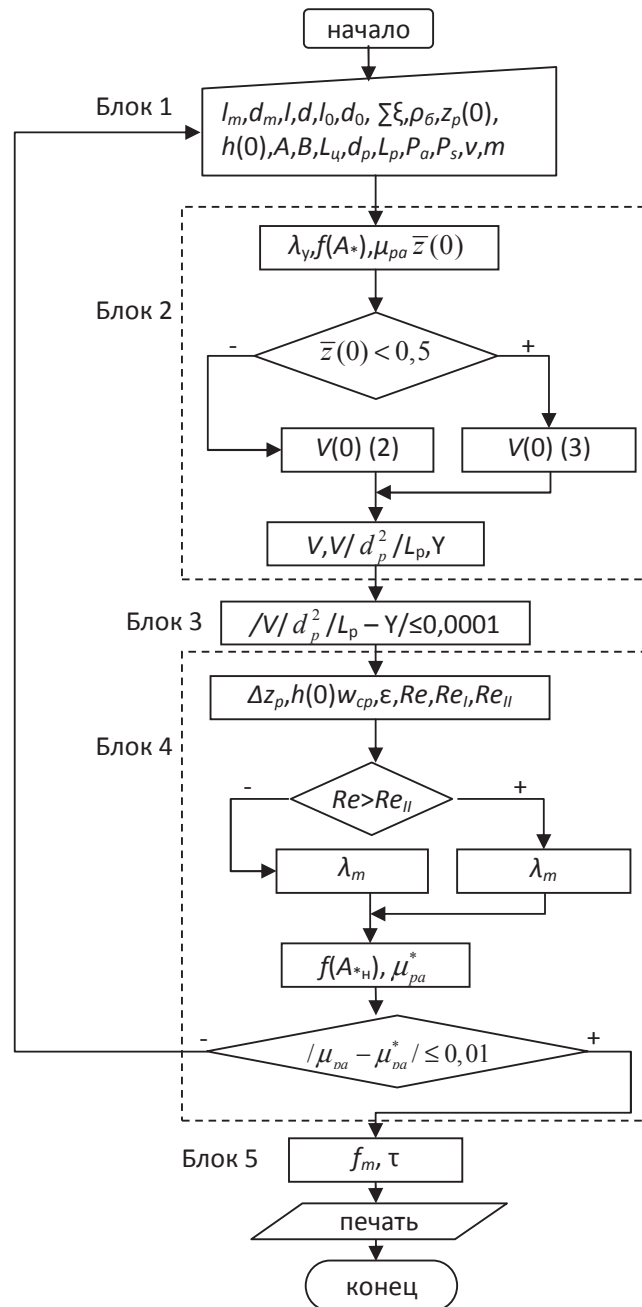


Рис.1. Структурная схема вычисления времени слива бензина

**3. Результаты расчетов и их анализ.** Перед расчетом по рассмотренному алгоритму предварительно определялся максимально возможный начальный уровень топлива в приемном резервуаре  $z_p(0)_{\max}$ . Значение  $z_p(0)_{\max}$  находилось из условия, что сумма объемов жидкости при начальном уровне  $V(0)$  и эксплуатационного объема автоцистерны  $V_{\text{экс}}$  не должны превышать объем резервуара:

$$V(0) + V_{\text{экс}} \leq V. \tag{4}$$

Задача отыскания значения  $z_p(0)_{\max}$  решалась методом подбора для каждого типа автоцистерны и резервуаров.

На рис. 2 представлена зависимость времени полного слива бензина из автоцистерны АЦ-4 от начального уровня топлива в приемном резервуаре  $z_p(0)$  емкостью  $10\text{ м}^3$ . Методом последовательных приближений было найдено минимальное время слива  $\tau_{\min}=7,7$  мин, которому соответствует экстремальное значение начального уровня топлива  $z_p(0)_{\text{экс}}=0,8$  м.

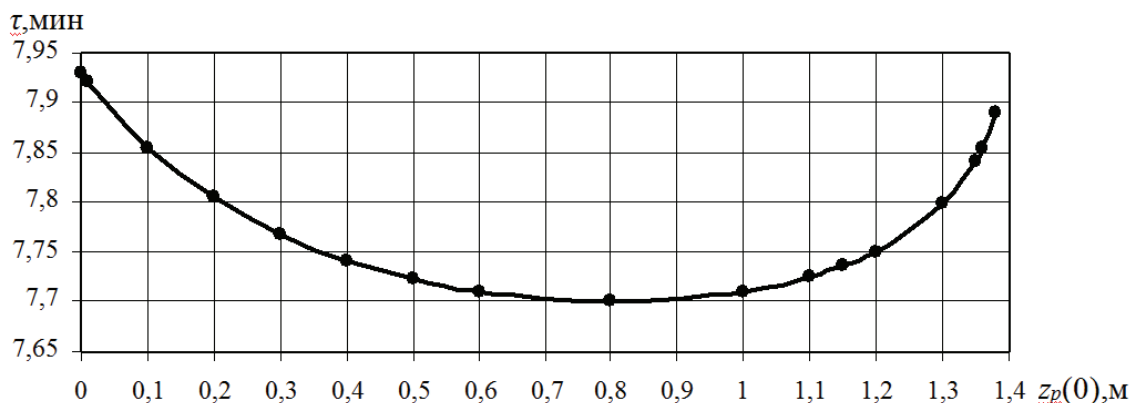


Рис.2. Зависимость времени слива бензина из автоцистерны АЦ-4 в резервуар емкостью  $10\text{ м}^3$  от начального уровня

В таблице представлены результаты расчетов основных параметров самотечного слива: максимальное  $\tau_{\max}$ , минимальное  $\tau_{\min}$  и осредненное  $\tau_{\text{ср}}$  время опорожнения автоцистерны; начальные уровни топлива  $z_p(0)_{\text{экс}}$ ,  $z_p(0)_{\max}$  в приемных резервуарах, обеспечивающие минимальное и максимальное время слива соответственно.

Таблица

Параметры слива для автоцистерн в резервуары

Объем резервуара, $V, \text{ м}^3$	Максимальное время слива, $\tau_{\max}, \text{ мин}$	Среднее время слива, $\tau_{\text{ср}}, \text{ мин}$	Минимальное время слива, $\tau_{\min}, \text{ мин}$	$z_p(0)_{\text{экс}}, \text{ м}$	$z_p(0)_{\max}, \text{ м}$
АЦ-4					
5	9,51	9,33	9,201	0,35	0,53
10	7,93	7,79	7,7	0,8	1,38
25	7,12	7,02	6,958	1,2	2,15
50	6,88	6,80	6,769	1,3	2,4
АЦ-5,5					
10	26,56	26,07	25,746	0,6	1,17
25	23,5	23,13	22,903	1,2	2
50	22,57	22,30	22,1536	1,3	2,4
АЦ-8,5					
10	32,19	31,57	31,15	0,4	0,73
25	27,05	26,59	26,261	1	1,73
50	25,61	25,25	25,0397	1,3	2,25
АЦ-10					
10	49,8	48,93	48,25	0,3	0,48
25	40,2	39,44	39,003	1	1,6
50	37,82	37,29	45,942	1,3	2,17

По данным табл. можно сделать следующие выводы. Максимальное и минимальное время слива отличаются незначительно для каждого резервуара и можно пользоваться осредненными значениями. При увеличении объемов приемных резервуаров уменьшается разница экстремальных значений времени слива. При увеличении объема резервуара время слива уменьшается.

На рис. 3 представлены значения зависимостей безразмерной высоты заполнения резервуара  $\bar{z}$  в интервале  $0,1281 \leq \bar{z} \leq 0,9823$  в зависимости от расчетного комплекса  $Y = \frac{V}{d_p^2 L_p}$  для всех рассмотренных типов автоцистерн и приемных резервуаров.

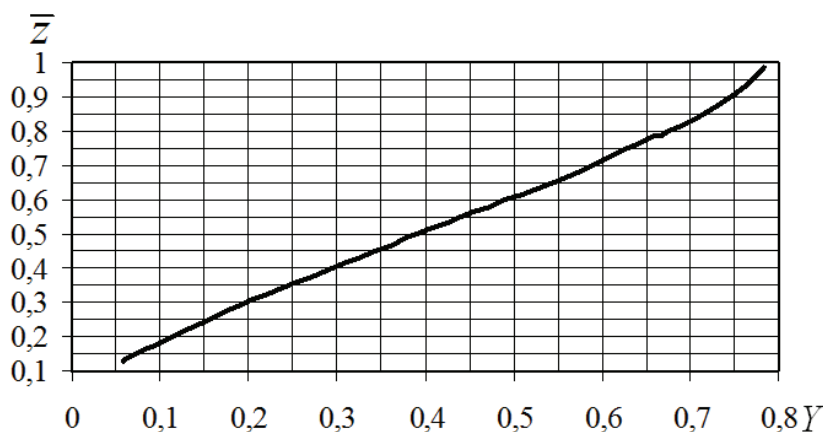


Рис. 3. Зависимость безразмерной высоты заполнения резервуара  $\bar{z}$  от расчетного комплекса  $Y$

Характер полученной кривой (см. рис. 3) подсказывает, что она может быть аппроксимирована полиномиальной зависимостью степени выше 2 [8]. Было найдено уравнение регрессии в виде полинома степени  $k=3$  вида [9]

$$\bar{z} = 0,0372 + 1,6368Y - 1,7821Y^2 + 1,5495Y^3. \tag{5}$$

На рис. 4 представлена зависимость среднего времени слива бензина  $\tau_{cp}$  от эксплуатационного объема автоцистерны  $V_{экс}$ , построенная на основе табл. 1 по осредненным данным.

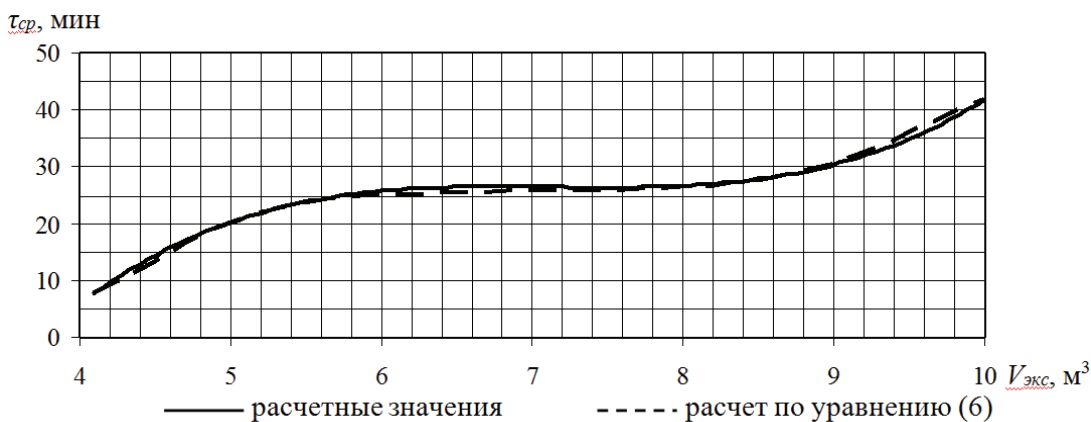


Рис. 4. Зависимость времени самотечного слива бензина от объема автоцистерны

Было получено аппроксимационное уравнение с доверительной вероятностью  $p=0,95$ , позволяющее рассчитывать время самотечного слива бензина в горизонтальные резервуары емкостью от 5 до 50м<sup>3</sup> в зависимости от эксплуатационного объема автоцистерны  $V_{\text{экс}}$ :

$$\tau_{\text{ср}} = -224,849 + 106,129V_{\text{экс}} - 14,901V_{\text{экс}}^2 + 0,6955V_{\text{экс}}^3. \quad (6)$$

### Выводы.

1. Проведены расчеты времени самотечного слива бензина из различных типов автоцистерн в горизонтальные резервуары АЗС емкостью от 5 до 50м<sup>3</sup>.
2. Для каждого типа автоцистерны и сортамента резервуаров построена графическая зависимость безразмерной высоты заполнения резервуара  $\bar{z}$  от расчетного комплекса  $Y$  и зависимости времени слива из автоцистерн в резервуары от начального уровня жидкости.
3. Для каждого типа автоцистерны найдено среднее время слива  $\tau_{\text{ср}}$ , максимальное и минимальное время слива при соответствующих начальных уровнях в резервуарах.
4. На основе анализа полученных данных установлено, что максимальное и минимальное время слива отличаются незначительно для каждого резервуара и можно пользоваться осредненными значениями. При увеличении объемов приемных резервуаров уменьшается разница экстремальных значений времени слива. При увеличении объема резервуара время слива уменьшается.
5. Найдена универсальная зависимость безразмерной высоты заполнения резервуара  $\bar{z}$  от расчетного комплекса  $Y$  в виде полинома третьей степени, необходимая для расчетов времени слива при использовании исходных данных, отличных от условий выполненных расчетов.
6. Получено аппроксимационное уравнение в виде полинома третьей степени, с доверительной вероятностью  $p=0,95$ , позволяющее рассчитывать время самотечного слива бензина в горизонтальные резервуары емкостью от 5 до 50м<sup>3</sup> в зависимости от эксплуатационного объема автоцистерны.

### Библиографический список

1. Комплексное развитие систем коммунальной инфраструктуры муниципального образования: монография / В.Н. Семенов, Д.Н. Китаев, П.Г. Грабовый и др.; под общ.ред. В.Н. Семенова/ Изд-во Воронежского ГАСУ, 2010. – 135с.
2. Шалай, В. В. Проектирование и эксплуатация нефтебаз и АЗС: учеб. пособие. / В. В. Шалай, Ю. П. Макушев. – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2010. – 296 с.
3. Тугунов, П. И. Типовые расчеты при проектировании и эксплуатации нефтебаз и нефтепроводов: учеб. пособие для вузов / П.И. Тугунов [и др.] – Уфа: ООО «Дизайн-Полиграф Сервис», 2002. – 658 с.
4. Кузьменко, В. Г. ВВА 2003. / В.Г. Кузьменко / М.: ООО «Бином-Пресс», 2004г. – 432с.
5. Соболев, Б. В. Методы оптимизации: практикум / Б.В. Соболев, Б.Ч. Месхи, Г.И. Каньгин. – Ростов н/Д.: Феникс, 2009. – 380с.
6. Китаев, Д. Н. Расчет нефтяного насоса и построение рабочей характеристики : учеб.-метод. пособие для студ. спец. 21.03.01/ Д.Н. Китаев ; Воронежский ГАСУ. – Воронеж, 2015. - 66 с.
7. Васильев, И. Е. Влияние вязкости перекачиваемой среды на характеристики магистральных нефтяных насосов / И.В. Васильев, Д.Н. Китаев, Е.П. Коротких, Т.О. Маслова/ Молодой ученый. – №9(143). – 2017. Том 1.– С. 42-45.
8. Китаев, Д. Н. Интерполяционные полиномы теплоемкостей идеальных газов /Д.Н. Китаев, О.А. Цуканова// Молодой ученый. – 2008. – №1. – С.7-13.
9. Львовский, Е. Н. Статистические методы построения эмпирических формул / Е.Н. Львовский. – М.: Высш. школа. 1982. – 224с.
10. Тульская, С. Г. Подогрев и вероятная температура нефтепродуктов в резервуарах при хранении / С. Г. Тульская, С. В. Чуйкин, С.А. Петров // Молодой ученый. – 2016. – № 21 (125). – С. 226-228.
11. Мартыненко, Г. Н. Температурный режим хранения нефтепродуктов в резервуарах / Г. Н. Мартыненко, С. Г. Тульская // Учебное пособие / Воронеж, 2015. – 54 с.

## References

1. Kompleksnoe razvitie sistem kommunal'noj infrastruktury municipal'nogo obrazovaniya: mono-grafija / V.N. Semenov, D.N. Kitaev, P.G. Grabovij i dr.; pod obshh.red. V.N. Semenova/ Izd-vo Voronezhskogo GASU, 2010. – 135s.
2. **Shalaj, V. V.** Proektirovanie i jekspluatsija neftebaz i AZS: ucheb. posobie. / V. V. Shalaj, Ju. P. Makushev. – Omsk: Izd-vo OmGTU, 2010. – 296 s.
3. **Tugunov, P. I.** Tipovye raschety pri proektirovanii i jekspluatsii neftebaz i nefteprovodov: ucheb. posobie dlja vuzov / P.I. Tugunov [i dr.] – Ufa: OOO «Dizajn-Poligraf Servis», 2002. – 658 s.
4. **Kuz'menko, V. G.** VBA 2003. / V.G. Kuz'menko / M.: OOO «Binom-Press», 2004g. – 432s.
5. Sobol', B. V. Metody optimizacii: praktikum / B.V. Sobol', B.Ch. Meshi, G.I. Kanygin. – Rostov n/D.: Feniks, 2009. – 380s.
6. **Kitaev, D. N.** Raschet nefljanogo nasosa i postroenie rabochej harakteristiki : ucheb.-metod. posobie dlja stud. spec. 21.03.01/ D.N. Kitaev ; Voronezhskij GASU. – Voronezh, 2015. - 66 s.
7. **Vasil'ev, I. E.** Vlijanie vjazkosti perekachivaemoj sredy na harakteristiki magistral'nyh nefljanym nasosov / I.V. Vasil'ev, D.N. Kitaev, E.P. Korotkih, T.O. Maslova/ Molodoj uchenyj. – №9(143).– 2017. Tom 1.– S. 42-45.
8. Kitaev, D. N. Interpoljacionnye polinomy teploemkostej ideal'nyh gazov /D.N. Kitaev, O.A. Cuka-nova// Molodoj uchenyj. – 2008. – №1. – S.7-13.
9. **L'vovskij, E. N.** Statisticheskie metody postroenija jempiricheskikh formul / E.N. L'vovskij. – M.: Vyssh. shkola. 1982. – 224s.
10. **Tul'skaja, S. G.** Podogrev i verojatnaja temperatura nefteproduktov v rezervuarah pri hranenii / S. G. Tul'skaja, S. V. Chujkin, S.A. Petrov // Molodoj uchenyj. – 2016. – № 21 (125). – S. 226-228.
11. **Martynenko, G. N.** Temperaturnyj rezhim hranenija nefteproduktov v rezervuarah / G. N. Martynenko, S. G. Tul'skaja // Uchebnoe posobie / Voronezh, 2015. – 54 s.

## CALCULATION OF THE TIME OF THE SELF-DRAINING OF LIGHT OIL PRODUCTS AT THE REFUELING STATIONS

N. A. Rusanov, D. N. Kitaev

*Voronezh State Technical University*

*N. A. Rusanov, master student of Dept. of Heat and Gas Supply and oil and gas business*

*Russia, Voronezh, tel.: +7 (473) 271-53-21, e-mail: dim.kit@rambler.ru*

*D. N. Kitaev, PhD in Engineering, Assoc. Prof. of Dept. of Heat and Gas Supply and oil and gas business*

*Russia, Voronezh, tel.: +7 (473) 271-53-21, e-mail: dim.kit@rambler.ru*

**Statement of the problem.** Delivery of fuel to urban filling stations is carried out by tank trucks with different capacities and influences the boot process of the transport infra-structure. Usually drain light oil by gravity to the reservoirs located on the territory of petrol stations. The time taken to drain the fuel, stay for the trucks at filling stations, is an important logistical parameter is required when planning the transport.

**Results.** The calculations of the time of gravity draining of gasoline from different types of auto tanks horizontal tanks of filling stations with capacity from 5 to 50m<sup>3</sup>. It is established that the maximum and minimum drain time do not differ significantly for each tank. The obtained averaged values.

**Conclusions.** The resulting equation in the form of a third-order polynomial, which allows to calculate the time for gravity draining of petrol in horizontal tanks, depending on operational volume of the tanker.

**Keywords:** gas stations, tank trucks, storage tanks, gravity drain.

*Для цитирования: Русанов, Н. А.* Расчет времени самотечного слива светлых нефтепродуктов на автозаправочных станциях / Н. А. Русанов, Д. Н. Китаев // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. – 2017. – № 2 (7). – С. 66-72.

*For citation: Rusanov, N. A.* Calculation of the time of the self-draining of light oil products at the refueling stations / N. A. Rusanov, D. N. Kitaev // Gradostroitelstvo. Infrastruktura. Kommunikatsii. – 2017. – № 2 (7). – Pp. 66-72.



## **ПРАВИЛА НАПИСАНИЯ И ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЕЙ**

### **RULES OF PREPARATION OF ARTICLES**

Уважаемые авторы, пожалуйста, строго следуйте правилам написания и оформления статей для опубликования в журнале «Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации».

1. Изложение материала должно быть ясным, логически выстроенным. Обязательными структурными элементами статьи являются *Введение* (~0,5 страницы) и *Выводы* (~0,5 страницы), другие логические элементы (пункты и, возможно, подпункты), которые следует выделять в качестве заголовков.

1.1. *Введение* предполагает:

- обоснование актуальности исследования;
- анализ последних публикаций, в которых начато решение исследуемой в статье задачи (проблемы) и на которые опирается автор в своей работе;
- выделение ранее не решенных частей общей задачи (проблемы);
- формулирование цели исследования (постановка задачи).

1.2. Основной текст статьи необходимо структурировать, выделив логические элементы заголовками (например, «Анализ характера разрушения опытных образцов...», «Расчет прочности тела фундамента»). В основном тексте рекомендуется выделение не менее двух пунктов (разделов).

1.3. Завершить изложение необходимо *Выводами*, в которых следует указать, в чем заключается научная новизна изложенных в статье результатов исследования («Впервые определено/рассчитано...», «Нами установлено...», «Полученные нами результаты подтвердили/опровергли...»).

2. Особое внимание следует уделить аннотации: она должна в сжатой форме отражать содержание статьи. Логически аннотация, как и сам текст статьи, делится на три части - *Постановка задачи* (или *Состояние проблемы*), *Результаты* и *Выводы*, которые также выделяются заголовками. Каждая из этих частей в краткой форме передает содержание соответствующих частей текста - введения, основного текста и выводов.

Требуемый объем аннотации – 7÷10 строк, набранных шрифтом высотой 10 пт.

3. Статьи представляются в электронном и отпечатанном виде, печатный экземпляр должен быть подписан всеми авторами.

4. Обязательно указание мест работы всех авторов, их должностей, контактной информации (сведения об авторах приводятся в начале статьи и набираются шрифтом высотой 10 пт.).

5. Объем статьи должен составлять не менее 5 и не более 10 страниц формата А4. Поля слева и справа - по 2 см, снизу и сверху - по 2,5 см.

6. Обязательным элементом статьи является индекс УДК.

7. Сведения об авторах, аннотация, ключевые слова и библиографический список приводятся на русском и на английском языках.

8. Для основного текста используйте шрифт Times New Roman высотой 12 пунктов с одинарным интервалом. Не используйте какой-либо другой шрифт. Для обеспечения однородности стиля не используйте курсив, а также не подчеркивайте текст. Отступ первой строки абзаца - 1 см.

9. Графики, рисунки и фотографии монтируются в тексте после первого упоминания о них. Название иллюстраций (10 пт., обычный) дается под ними после слова Рис. с порядковым номером (10 пт., полужирный). Если рисунок в тексте один, номер не ставится. Все рисунки и фотографии желательно представлять в цветном варианте; они должны иметь хоро-

ший контраст и разрешение не менее 300 dpi. Избегайте тонких линий в графиках (толщина линий должна быть не менее 0,2 мм). Рисунки в виде ксерокопий из книг и журналов, а также плохо отсканированные не принимаются.

10. Слово «Таблица» с порядковым номером размещается по правому краю. На следующей строке приводится название таблицы (выравнивание по центру без отступа) без точки в конце. Единственная в статье таблица не нумеруется.

11. Используемые в работе термины, единицы измерения и условные обозначения должны быть общепринятыми. Все употребляемые автором обозначения и аббревиатуры должны быть определены при их первом появлении в тексте.

12. Все латинские обозначения набираются курсивом, названия функций (sin, cos, exp) и греческие буквы - обычным (прямым) шрифтом. Все формулы должны быть набраны в редакторе формул MathType. Пояснения к формулам (экспликация) должны быть набраны в подбор (без использования красной строки).

13. Ссылки на литературные источники в тексте заключаются в квадратные скобки [1]. Библиографический список приводится после текста статьи на русском и английском языках в соответствии с требованиями ГОСТ 7.1-2003. Список источников приводится в алфавитном порядке или по порядку их упоминания в тексте.

14. Редакция обеспечивает рецензирование статей. Статья рецензируется не более двух раз, после повторной отрицательной рецензии статья отклоняется.

15. Для публикации статьи необходимо заполнить и выслать на адрес редакции сопроводительное письмо (шаблон письма размещен на сайте журнала).

16. Редакция имеет право производить сокращения и редакционные изменения текста рукописи.

17. Редакция поддерживает связь с авторами преимущественно через электронную почту - будьте внимательны, указывая адрес для переписки.

18. Представляя рукопись в редакцию, автор гарантирует, что:

- он не публиковал и не будет публиковать статью в объеме более 50 % в других печатных и (или) электронных изданиях, кроме публикации статьи в виде препринта;

- статья содержит все предусмотренные действующим законодательством об авторском праве ссылки на цитируемых авторов и издания, а также используемые в статье результаты и факты, полученные другими авторами или организациями;

- статья не включает материалы, не подлежащие опубликованию в открытой печати, в соответствии с действующими нормативными актами.

Автор согласен с тем, что редакция журнала имеет право:

- предоставлять материалы научных статей в российские и зарубежные организации, обеспечивающие индексы научного цитирования;

- производить сокращения и редакционные изменения текста рукописи;

- допечатывать тираж журнала со статьей автора, размещать в СМИ предварительную и рекламную информацию о предстоящей публикации статьи и вышедших в свет журналах.

19. Рукописи статей авторам не возвращаются (даже в случае отказа в публикации) и вознаграждение (гонорар) за опубликованные статьи не выплачивается.