

**ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО  
ИНФРАСТРУКТУРА  
КОММУНИКАЦИИ**

**Выпуск № 3 (4) 2016**

**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

**№ 3 (4)**

**Август, 2016**

- 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**

# GRADOSTROITELSTVO INFRASTRUKTURA KOMMUNIKATSII

**№ 3 (4)**

**August, 2016**

- 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 архитектурно-строительный 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 архитектурно-строительный университет

## РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

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

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

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

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

**Донцов Д. Г.**, д-р архит., проф., Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет

**Енин А. Е.**, канд. архит, проф., Воронежский государственный архитектурно-строительный университет

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

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

**Капустин П. В.**, канд. арх., доц., Воронежский государственный архитектурно-строительный университет

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

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

**Мищенко В. Я.**, д-р техн. наук, проф., Воронежский государственный архитектурно-строительный университет

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

**Птичникова Г. А.**, д-р архит., проф., Волгоградский филиал НИИТИАГ РААСН

**Сафронов В. С.**, д-р техн. наук, проф., Воронежский государственный архитектурно-строительный университет

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

**Чесноков Г. А.**, канд. арх., доц., Воронежский государственный архитектурно-строительный университет

**Шапиро Д. М.**, д-р техн. наук, проф., Воронежский государственный архитектурно-строительный университет

**Шубенков М. В.**, д-р арх., проф., Московский архитектурный институт

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

Подписано в печать 22.08.2016. Усл. печ. л. 7.09. Формат 60×84/8. Тираж 1000 экз. Заказ № 498  
Свидетельство о регистрации ПИ № ФС77-64969.

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

© Воронежский ГАСУ, 2016



**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 University of Architecture and Civil Engineering». 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 University of Architecture and Civil Engineering

**EDITORIAL BOARD**

**Editor-in-Chief:** **Melkumov V. N.**, D. Sc. in Engineering, Prof.,  
Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering

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

**Executive  
secretary:** **Tulskaya S. G.**, PhD. in Engineering, Assoc. Prof.,  
Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering

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

**Dontsov D. G.**, PhD in Architecture, Prof., Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering, Russia

**Enin A. E.**, PhD in Architecture, Prof., Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering

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

**Kalgin Y. I.**, D. Sc. in Engineering, Prof., Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering, Russia

**Kapustin P. V.**, PhD in Architecture, Assoc. Prof., Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering, Russia

**Kozlov V. A.**, D. Sc. in Physics and Mathematics, Assoc. Prof., Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering, Russia

**Kuznetsov S. N.**, D. Sc. in Engineering, Assoc. Prof., Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering, 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 University of Architecture and Civil Engineering, Russia

**Mishhenko V. Ja.**, Sc. in Engineering, Prof., Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering, Russia

**Podolsky V. P.**, D. Sc. in Engineering, Prof., Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering, Russia

**Ptichnikova G. A.**, PhD in Architecture, Prof., Volgograd branch NIITIAG RAASN, Russia

**Safronov V. S.**, D. Sc. in Engineering, Prof., Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering, Russia

**Samodurov T. V.**, D. Sc. in Engineering, Prof., Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering, Russia

**Chesnokov G. A.**, PhD. Architecture, Assoc. Prof., Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering, Russia

**Shapiro D. M.**, D. Sc. in Engineering, Prof., Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering, Russia

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

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

Signed to print 22.08.2016. Conventional printed sheets 7.09. Format 60×84/8. Circulation 1000 copies. Order 498

Registration certificate III № ФС77-64969.

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 University of Architecture and Civil Engineering, 2016

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>ТЕОРИЯ И ИСТОРИЯ АРХИТЕКТУРЫ, РЕСТАВРАЦИЯ И РЕКОНСТРУКЦИЯ ИСТОРИКО-АРХИТЕКТУРНОГО НАСЛЕДИЯ.....</b>	<b>9</b>
<i>Михайлова Т. В., Гузева А. Е.</i>	
История формирования улицы сакко и ванцетти городского округа город Воронеж как исторически ценного градоформирующего объекта города.....	9
<b>ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ, ВЕНТИЛЯЦИЯ, КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА, ГАЗОСНАБЖЕНИЕ И ОСВЕЩЕНИЕ.....</b>	<b>14</b>
<i>Мелькумов В. Н., Чуйкин С. В., Скляров К. А., Тульская С. Г.</i>	
Конструкции реакторов атомных станций.....	14
<i>Кумицкий Б. М., Плаксина Е. В., Саврасова Н. А.</i>	
Принцип динамического отопления как пример практического использования законов термодинамики.....	24
<i>Шукина Т. В., Жерлыкина М. Н., Соловьев С. А., Манцуров П. И.</i>	
Энергосбережение в системах обеспечения микроклимата зданий при утилизации теплоты вентиляционных выбросов.....	30
<i>Сотникова О. А., Тульская С. Г.</i>	
Экспериментальные исследования теплозащитных свойств светопрозрачных конструкций .....	35
<b>СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ.....</b>	<b>45</b>
<i>Кумицкий Б. М., Саврасова Н. А., Плаксина Е. В.</i>	
Использование принципов геометрической оптики для исследования свойств слоистых материалов.....	45
<i>Бурак Е. Э., Егорова С. П., Воробьева Ю.А., Григорова А. С.</i>	
Разработка рекомендаций по процессу нанесения штукатурного раствора механизированным способом на обрабатываемую поверхность.....	51
<b>ПРАВИЛА НАПИСАНИЯ И ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЕЙ.....</b>	<b>59</b>
<b>СВЕДЕНИЯ ДЛЯ ДОКТОРАНТОВ, АСПИРАНТОВ И СОИСКАТЕЛЕЙ.....</b>	<b>61</b>

## CONTENTS

<b>THEORY AND HISTORY OF ARCHITECTURE, RESTORATION AND RECONSTRUCTION OF HISTORICAL AND ARCHITECTURAL HERITAGE.....</b>	<b>9</b>
<i>Mikhailova T. V., Guzeva A. E.</i> The history of the sacco and vanzetti street city district Voronezh historically valuable city gradofmiruyuschego object.....	9
<b>HEAT AND GAS SUPPLY, VENTILATION, AIR CONDITIONING, GAS SUPPLY AND ILLUMINATION .....</b>	<b>14</b>
<i>Melkumov V. N., Chuikin S. V., Sklyarov, K. A., Tulskaya S. G.</i> Design of nuclear reactors.....	14
<i>Kumitsky B. M., Plaksina, E. V., Savrasova N. A.</i> Principle of dynamic heating as example of practical use of laws of thermodynamics.....	24
<i>Shchukina T. V., Zherlykina M. N., Soloviev S. A., Mantsurov P. I.</i> Energy saving in systems of providing a microclimate of buildings at utilization of warmth of ventilating emissions.....	30
<i>Sotnikova O. A., Tulskaya S. G.</i> Experimental study of heat properties of translucent structures.....	35
<b>BUILDING MATERIALS AND PRODUCTS.....</b>	<b>45</b>
<i>Kumitsky B. M., Savrasova N. A., Plaksina, E. V.</i> Use of the principles of geometrical optics for research of properties of layered materials.....	45
<i>Burak E. E., Egorova S. P., Vorobyova, Yu. A., Grigorova A. S.</i> Development of recommendations for the process of application of mechanized methods plaster solution on the therated surface.....	51
<b>RULES OF PREPARATION OF ARTICLES.....</b>	<b>59</b>
<b>INFORMATION FOR D.SC. AND PH.D. CANDIDATES.....</b>	<b>61</b>

---

# ТЕОРИЯ И ИСТОРИЯ АРХИТЕКТУРЫ, РЕСТАВРАЦИЯ И РЕКОНСТРУКЦИЯ ИСТОРИКО-АРХИТЕКТУРНОГО НАСЛЕДИЯ

---

УДК 711.01/.09

## ИСТОРИЯ ФОРМИРОВАНИЯ УЛИЦЫ САККО И ВАНЦЕТТИ ГОРОДСКОГО ОКРУГА ГОРОД ВОРОНЕЖ КАК ИСТОРИЧЕСКИ ЦЕННОГО ГРАДОФОРМИРУЮЩЕГО ОБЪЕКТА ГОРОДА

Т. В. Михайлова, А. Е. Гузева

---

*Воронежский государственный архитектурно-строительный университет*

*Т. В. Михайлова, канд. архитектуры, доцент кафедры жилищно-коммунального хозяйства*

*Россия, г. Воронеж, тел.: +7(920)430-70-58, e-mail: guzeva.nyura@mail.ru*

*А. Е. Гузева, студент кафедры жилищно-коммунального хозяйства*

*Россия, г. Воронеж, тел.: +7(920)430-70-58, e-mail: guzeva.nyura@mail.ru*

---

**Постановка задачи.** В рамках современной проблемы утраты нашей истории все больше возрастает актуальность восстановления историко-архитектурных памятников нашей страны, в частности города Воронежа. Принципиально важными задачами становится детальное изучение прошлого города Воронежа, а так же выявление наиболее ценных и значимых градоформирующих объектов, поиск причины их утраты.

**Результаты.** Был проведен анализ исторического развития улицы Сакко и Ванцетти. Определена градостроительная ценность данной улицы в рамках городского округа город Воронеж.

**Выводы.** Проектируемая среда в процессе преобразования нынешней территории должна раскрывать потенциал существующей застройки города.

**Ключевые слова:** градостроительство, история, архитектура, градоформирующие объекты, историко-архитектурные объекты, формирование города.

**Введение.** С каждым днем, месяцем, годом, мы все больше теряем исторические корни города Воронежа. В рутине повседневных дел мы забываем, что у нашего города есть богатая история, которая насчитывает уже несколько столетий. Пройдя войну, Воронеж потерял большую часть исторического центра, и каждый, чудом сохранившийся уголок должен, быть сохранен и восстановлен.

**1. Историческое развитие улицы Сакко и Ванцетти.** Город Воронеж был основан в 1586 году в качестве важного опорного пункта разведывательной сторожевой и станичной службы в обширных просторах «Дикого поля». Историческое формирование уличной структуры во многих городах России, в том числе и губернского города Воронежа обусловлено направлением русла реки (рис. 1).

Улица Большая Девиченская или же просто Девиченская (ныне Сакко и Ванцетти) одна из наиболее значительных в историко-архитектурном отношении улиц нашего города, сложилась вдоль реки Воронеж на правом. Улица ее правом берегу формироваться в 1760-1970-х гг. Девиченской она звалась вплоть до 1927 года, своим названием она была обязана Покровскому девичьему монастырю, находившемуся неподалеку [1].

---



Рис. 1. Вид города с реки

Монастырь основан в 1623 году. Через полвека в нем возводится первая каменная Покровская церковь, с приделом во имя иконы Божией Матери Смоленской (рис. 2). 8 сентября 1928 года в Воронежской газете «Коммуна» была опубликована статья «Новодевицкий монастырь - под рабочие квартиры. Церковь - под клуб». Территория девичьего монастыря быстро ушла под частную застройку. Через нее по направлению к реке прошли две параллельные улицы, названные обе в 1930-е годы Рабочим городком. Кельи и служебные здания были быстро приспособлены под жилье. Преображенская церковь и колокольня исчезли бесследно [2].

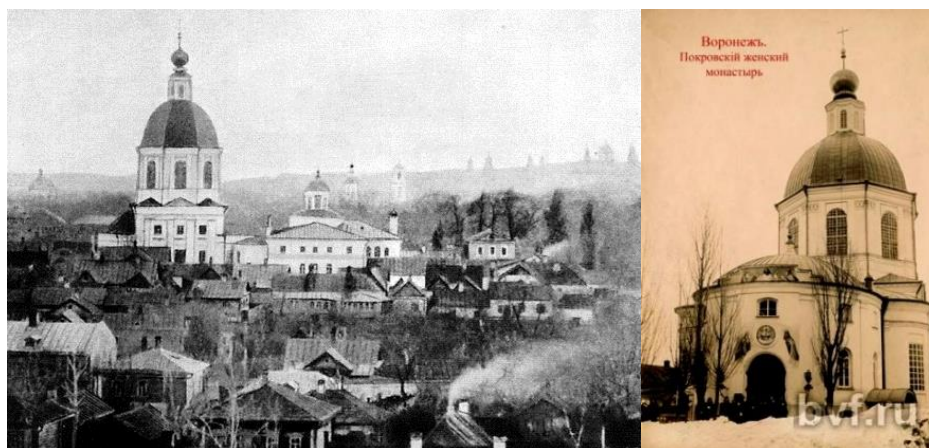


Рис. 2. Покровский Девичий монастырь

Два торговых центра («Попов» и девичий рынки) являлись центрами торговли улицы Девиченской (рис. 3). В начале XX века на месте «Попова» рынка, возникшего еще в последней четверти XVIII века, был устроен сквер. Девичий рынок располагался у монастыря. Улица Девиченская на рубеже XIX века была одной из главных в городе и застраивалась крупными жилыми и общественными зданиями, архитектурный стиль которых соответствовал принципам классицизма.

В 1786 году здесь (на месте дома № 72) было открыто одно из первых в городе светских учебных заведений - Главное народное училище, преобразованное затем в уездное. Его воспитанниками были будущий критик и мемуарист, профессор Петербургского университета А. В. Никитенко, поэт - сатирик С. Н. Марин и поэт А. В. Кольцов. В этом же доме с 1798 года начала работу первая в городе губернская типография [1-3].



Рис. 3. План г. Воронеж 1910 г.

В первой четверти XIX века дворянские усадьбы стали приспособляться под общественные учреждения. Дом чиновницы Ненарокомовой (№ 76) заняло военное ведомство—школа кантонистов. В доме губернатора А. Б. Сонцова (№ 102) разместилась губернская гимназия (рис.4), в доме князей Лобановых-Ростовских (№ 80) – частный пансион Федорова и Попова (рис. 5). Позже в этих зданиях располагались: губернское жандармское управление, квартиры преподавателей гимназии, солдатские казармы, общежитие духовной семинарии. На протяжении XIX века Большая Девиченская потеряла былое значение, уступая его улицам верхней части города, куда переместилось основное строительство. Здесь селились мещане, купцы, священники, мелкие служащие, представители интеллигенции.



Рис. 4. Дом губернатора Сонцова



Рис. 5. Дом князей Лобано-Ростовских

В 1863-1871 годах на Большой Девиченской жил известный воронежский историк-краевед, общественный деятель Г.М. Веселовский (дом № 38). Первый в Воронеже кинотеатр «Гелиос» (жилой дом 62), был открыт в 1910 году Б. С. Стороженко [1].

Дом на углу Девичьего рынка (он же Девичок), существует здесь уже более двух веков (рис. 6). Скругленное двухэтажное здание, выстроенное в формах классицизма в 1 половине 19 века. На рубеже 19 и 20 веков принадлежал жене коллежского секретаря Путинцевой, а в 1910 г, при новой домовладелице, мещанке Пресняковой, в первом этаже устроили бакалейный магазин.



Рис. 6. Дом на углу Девичьего рынка (Девичок)

Данная улица богата на памятники архитектуры и истории (на исследуемой территории находится 14 исторических памятников (рис. 7), 6 из которых имеют областное значение и 8 местное [3].

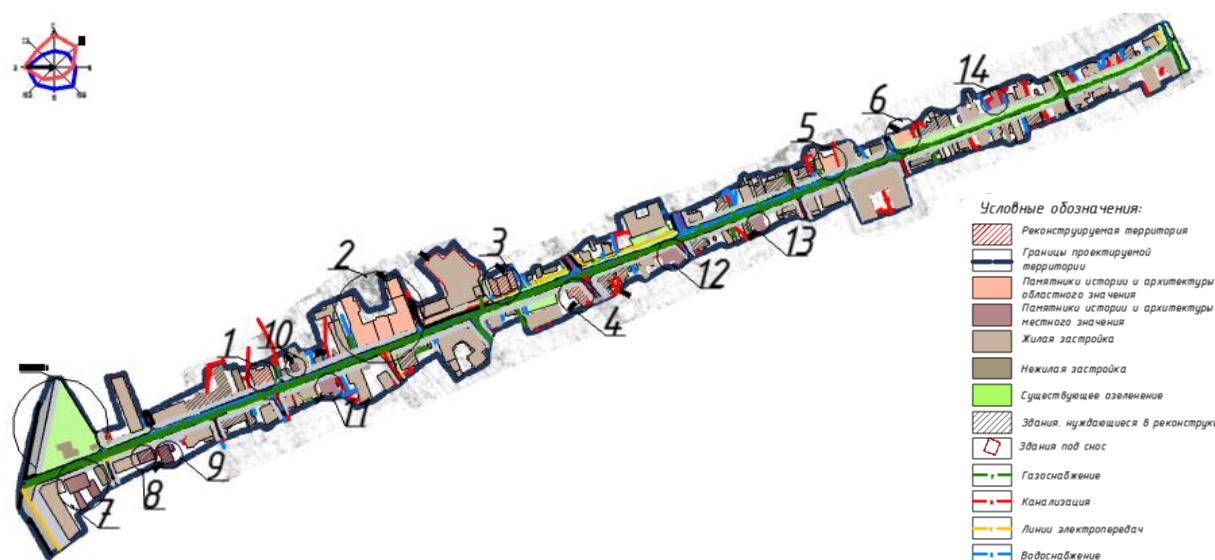


Рис. 7. Опорный план улицы Сакко и Ванцетти, ограниченный улицами Степана-Разина и Жилина:  
 1 - Усадьба Солнцева; 2 - Дом князей Лобановых; 3 - Дом Контанистов; 4 - Дом священнослужителей Аристовых; 5 - Дом Крщановичей; 6 - Дом Пресняковой (Девичок); 7 - Городское полицейское управление 19 века; 8, 9 - Усадьба Ремесленной управы; 10 - Флигель усадьбы Елены Гардениной; 11 - Дом преподавателя губернской гимназии Рябоконева; 12 - Дом Захарова; 13 - Флигель усадьбы; 14 - Дом историка Веселовского Г.М.

К памятникам областного значения относятся:

1. Усадьба Солнцева;
2. Дом князей Лобановых-Ростовских (в последствии общежитие духовной семинарии);
3. Дом Контанистов;
4. Дом священнослужителей Аристовых;
5. Дом Крщановичей;
6. Дом Пресняковой (Девичок).

К памятникам местного значения относятся:

1. Городское полицейское управление 19 века;

2. Усадьба Ремесленной управы;
3. Усадьба Ремесленной управы;
4. Флигедь усадьбы Елены Гардениной;
5. Дом преподавателя губернской гимназии Рябоконева;
6. Дом Захарова;
7. Флигель усадьбы;
8. Дом историка Веселовского Г.М.

**Вывод.** Многие памятники утратили свой изначальный вид, потеряли своих владельцев и нуждаются в реконструкции так же как многие другие интересные здания, расположенные на данной улице. В настоящее время эту улицу постепенно пытаются застраивать многоэтажной и высотной жилой застройкой. Таких зданий, построенных по типовым проектам, можно встретить в различных районах не только нашего города, но и в других городах. Такая застройка делает города безликими и однообразными.

Данный уголок Воронежа очень ценен с историко-архитектурной точки зрения города. Каждый должен помнить свою историю и бережно относиться к ней.

#### Библиографический список

1. Акиншин, А. Н. Храмы Воронежа, - 406 с.
2. Перечень объектов культурного наследия (памятников истории и культуры) Воронежской области, - 83 с.
3. Комплексное развитие инженерной инфраструктуры туристического маршрута «Старый Воронеж» городского округа город Воронеж / Журнал «Градостроительство» . -2014. - № 5.

#### References

1. Akin'shin, A. N. Hramy Voronezha, - 406 s.
2. Perechen' ob#ektov kul'turnogo nasledija (pamjatnikov istorii i kul'tury) Voronezhskoj oblasti, - 83 s.
3. Kompleksnoe razvitie inzhenernoj infrastruktury turisticheskogo marshruta «Staryj Voronezh» go-rodskogo okruga Voronezh / Zhurnal «Gradostroitel'stvo». -2014. - № 5.

## THE HISTORY OF THE SACCO AND VANZETTI STREET CITY DISTRICT VORONEZH HISTORICALLY VALUABLE CITY GRADOFORMIRUYUSCHEGO OBJECT

T. V. Mikhailova, A. E. Guzeva

*Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering*

*T. Mikhailova, Ph. Architecture, Associate Professor, Department of Housing and Communal Services*

*Russia, Voronezh, tel. : +7 (920) 430-70-58, e-mail: guzeva.nyura@mail.ru*

*A. E. Guzeva, student of the department of housing and communal services*

*Russia, Voronezh, tel. : +7 (920) 430-70-58, e-mail: guzeva.nyura@mail.ru*

**Statement of the problem.** As part of the modern history of the problem of the loss of our ever-increasing urgency of restoration of historical and architectural monuments of the country, in particular the city of Voronezh. A critical challenge is getting a detailed study of the past of the city of Voronezh, as well as identifying the most valuable and important gradoformiruyuschih objects, search for the cause of their loss.

**Results.** Analysis of the historical development of the street Sacco and Vanzetti were held. Determined the value of the urban streets within the city district Voronezh.

**Conclusions.** Projected medium in the process of transforming the present territory should disclose the potential of the existing buildings of the city.

**Keywords:** city, history, architecture, gradoformiruyuschie objects of historical and architectural sites, the formation of the city.

# ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ, ВЕНТИЛЯЦИЯ, КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА, ГАЗОСНАБЖЕНИЕ И ОСВЕЩЕНИЕ

---

---

УДК 621.039:697.34

## КОНСТРУКЦИИ РЕАКТОРОВ АТОМНЫХ СТАНЦИЙ

В. Н. Мелькумов, С. В. Чуйкин, К. А. Склярков, С. Г. Тульская

---

*Воронежский государственный архитектурно-строительный университет*

*В. Н. Мелькумов, д-р. техн. наук, проф., зав. кафедрой теплогазоснабжения и нефтегазового дела  
Россия, г. Воронеж, тел.: +7(473)271-53-21, e-mail: teplosnab\_kaf@vgasu.vrn.ru*

*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*

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

*С. Г. Тульская, канд. техн. наук, доцент кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела  
Россия, г. Воронеж, тел.: +7(473)271-53-21, e-mail: tcdtnkfyf2014@yandex.ru*

---

**Постановка задачи.** Одной из главных задач при проектировании атомных станций является выбор типа ядерного реактора, от которого зависит состав и принцип работы вспомогательного оборудования. В связи с этим становится актуальным изучение достоинств и недостатков реакторов различных конструкций.

**Результаты.** Рассмотрены принципиальные схемы и режимы работы канального водографитового и корпусного водо-водяного реактора, определены их преимущества и недостатки.

**Выводы.** Преимуществом корпусных реакторов является компактность, отсутствие разветвленной сети трубопроводов, меньшее количество контрольно-измерительных приборов, более простой монтаж и обслуживание, большая надежность в эксплуатации. Недостатком является проблема изготовления и доставки корпуса реактора к месту сооружения, лимитируется мощность реактора. Канальные реакторы не ограничены по мощности, однако к недостаткам канальных реакторов следует отнести большую затрату времени и труда при их монтаже, большой объем обслуживающего персонала и оборудования.

**Ключевые слова:** теплоэнергетика, атомная энергетика, ядерный реактор, тепловая схема реактора.

**Введение.** Ядерные реакторы являются наиболее важными и ответственными элементами любой атомной станции [1-5]. Энергия, выделяемая в реакторе, выводится в виде теплоты, которая затем, в зависимости от потребителя, преобразуется в энергию другого вида: электрическую – вырабатываемую на АЭС; механическую – вырабатываемую с помощью специальных реакторов на атомных морских судах; тепловую – вырабатываемую на атомных станциях теплоснабжения или атомных теплоэлектроцентралях, и служащих для снабжения низкопотенциальным теплом потребителей [6-15].

Реакторы обычно классифицируют по следующим признакам: энергии нейтронов, при взаимодействии с которыми происходит деление ядер; материалу замедлителя в реакторах на тепловых нейтронах, виду и параметрам теплоносителя; конструкционному исполнению;

назначению. В зависимости от энергии нейтронов, вызывающих деление, реакторы классифицируются на реакторы на быстрых, промежуточных и тепловых нейтронах. Быстрыми нейтронами называют нейтроны с энергией более 0,1 МэВ, тепловыми - менее 1 эВ.

В качестве замедлителя в реакторах на тепловых нейтронах (в реакторах на быстрых нейтронах замедлитель отсутствует) используются вещества, имеющие большое сечение упругого и неупругого рассеяния малое сечение захвата, малую атомную массу. Наибольшее распространение получили реакторы, в которых в качестве замедлителя используется вода или графит.

От вида теплоносителя во многом зависят теплотехнические параметры реактора и гидравлическая схема энергоустановки. К теплоносителям предъявляются следующие требования: хорошие теплофизические свойства (высокая теплоотдача и теплоемкость); низкое сечение захвата нейтронов; совместимость с конструкционными материалами; термическая и радиационная стойкость; приемлемые значения стоимости и расхода энергии на циркуляцию теплоносителя. В качестве теплоносителей применяют обычную и тяжелую воду, органические жидкости, газы, жидкие металлы.

В энергетических реакторах широкое распространение в качестве теплоносителя получила обычная вода. Она доступна, имеет невысокую стоимость, обладает хорошими теплофизическими свойствами. В некоторых реакторах вода является одновременно и теплоносителем и замедлителем. Такие реакторы называются водо-водяными, причем они бывают с не кипящей водой под давлением - ВВРД, и с кипящей водой - ВВРК.

Вода широко используется в качестве теплоносителя в реакторах с графитовым замедлителем, которые называются водо-графитовыми. К недостаткам воды как теплоносителя следует отнести высокое давление паров при относительно низкой температуре. Это требует в реакторах с водным теплоносителем создания высокого давления (6÷20 МПа), что ведет к удорожанию установки и вызывает определенные сложности в эксплуатации. Особенно это относится к реакторам с некипящей водой.

По конструкции реакторы разделяют на: корпусные, каналные и бассейновые. В корпусных реакторах делается общий подвод и отвод теплоносителя через патрубки. Внутри корпуса теплоноситель из общей раздаточной полости подается ко всем тепловыделяющим сборками. Корпус реактора находится под давлением теплоносителя. В каналных реакторах осуществляется индивидуальный подвод теплоносителя к каждой ТВС. Под давлением находится корпуса ТВС, а корпус реактора не нагружен давлением теплоносителя.

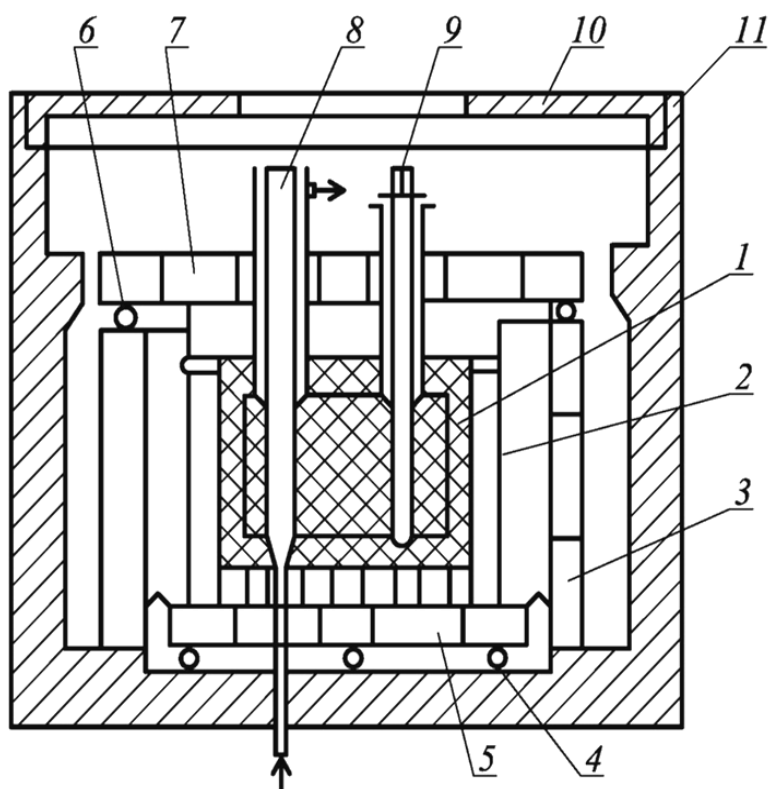
Конструкция реактора определяется главным образом видом замедлителя и теплоносителя. Водо-водяные реакторы выполняются корпусными, водо-графитовые - каналными. Исследовательские реакторы бывают чаще всего бассейнового типа. Как корпусным, так и каналным реакторам присущи свои преимущества и недостатки. Преимуществом корпусных реакторов является компактность, отсутствие разветвленной сети трубопроводов, меньше количество контрольно-измерительных приборов, более простой монтаж и обслуживание.

Сдерживающим фактором широкого распространения корпусных реакторов является проблема изготовления и доставки корпуса реактора к месту сооружения, вследствие чего размеры корпуса имеют ограничения, которые в свою очередь лимитируют увеличение мощности реактора. Канальные реакторы не ограничены по мощности, так как их корпус не нагружен давлением и может иметь достаточно большие размеры. Корпус собирается на месте монтажа из отдельных блоков, изготовленных на заводе.

К недостаткам каналных реакторов следует отнести большие затраты времени и труда при их монтаже, количество трубопроводов, арматуры и контрольно-измерительных приборов, большой объем обслуживания при их эксплуатации. По назначению большинство реакторов являются энергетическими и предназначены для обеспечения электрической, тепловой и механической энергией, различных потребителей. В Российской Федерации ядерная энер-

гетика развивается на базе реакторов двух типов: канальных, водо-графитовых и корпусных водо-водяных [15-19].

**1. Канальные водо-графитовые реактора.** Канальные водо-графитовые реакторы устанавливались на Ленинградской, Курской, Чернобыльской, Смоленской, Игналинской АЭС и на Билибивской АТЭЦ. Принципиальная схема канального водо-графитового реактора показана на рисунке 1. Несущими металлоконструкциями водо-графитовых реакторов являются нижняя и верхняя плиты и боковая защита. Герметизация внутреннего объема реактора осуществляется с помощью кожуха, соединенного с нижней и верхней плитами, а также с боковой защитой. Нижняя плита устанавливается на опоры, сделанные в бетонном основании здания реактора. Применяемый в качестве замедлителя графит собирают из отдельных колонн с отверстиями для установки топливных каналов, которые образуют правильную квадратную или треугольную сетку. Графитовую кладку монтируют на нижней плите. Полость активной зоны, заключенная внутри кожуха реактора, заполнена азотом или смесью азота с гелием. Атмосфера азота предотвращает окисление графита при высокой температуре, добавка гелия улучшает теплоотвод от графита. Газ, прокачиваемый через реактор, анализируется, что позволяет осуществлять постоянный контроль за герметичностью каналов. В зависимости от конструкции каналов различают реакторы с перегружаемыми и не перегружаемыми каналами. В перегружаемых каналах ТВЭЛы вместе с элементами канала образуют единую конструкцию. При замене выгоревшего топлива свежим в таких реакторах топливные каналы заменяются новыми. В реакторах с не перегружаемыми каналами ТВЭЛы, объединенные в ТВС, и каналы представляют собой отдельные конструкции.



**Рис. 1.** Принципиальная схема канального водографитового реактора: 1 – графитовая кладка; 2 – кожух; 3 – боковая биологическая защита; 4 – опора нижней плиты; 5 – нижняя плита; 6 – опора верхней плиты; 7 – верхняя плита; 8 – не перегружаемый канал с нижним подводом и верхним отводом теплоносителя; 9 – перегружаемый канал; 10 – верхнее защитное покрытие; 11 – пол реакторного зала

При замене топлива заменяются ТВС, канал остается в реакторе. Перегрузку топлива осуществляют с помощью разгрузочно-загрузочных машин. Основное преимущество канальных реакторов заключается в возможности изготовления их на обычных машиностроительных заводах. Основные характеристики канальных водографитовых реакторов приведены в таблице 1.

Таблица 1

Основные характеристики канальных водо-графитовых реакторов

Характеристика	РБМК-1000	РБМК-1500	РБМК-2400
Мощность, МВт			
-электрическая	1000	1500	2400
-тепловая	3200	4800	6500
Размер активной зоны, мм			
-эквивалентный диаметр	11800	11800	прямоугольник
-высота	7000	7000	25380×7050
Число топливных каналов	1693	1661	2880
Паропроизводительность реактора, т/ч	5800	8800	9600
Параметры пара перед турбиной			
давление, МПа	6,38	6,38	6,38
температура, °С	280	280	450
Температура теплоносителя в каналах (вход/выход), °С	270/284	270/284	270/300
Расход воды через реактор, т/ч	37500	2900	33920
Среднемассовое паросодержание на выходе из испарительных каналов, %	14,5	30	30

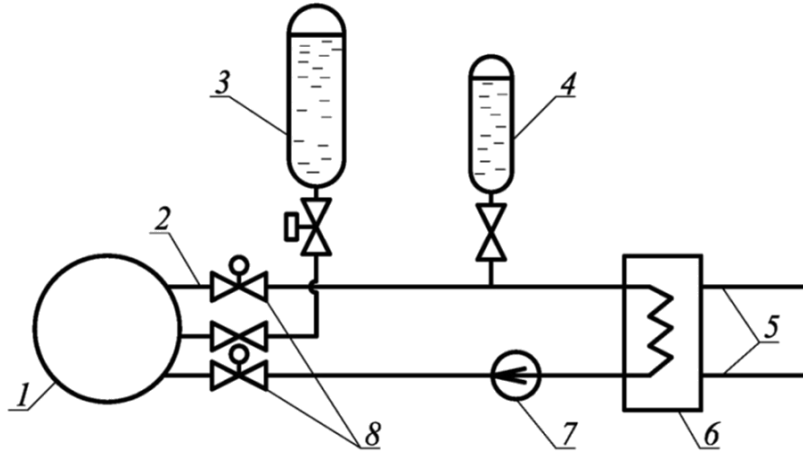
**2. Корпусные водо-водяные реакторы.** Отличительной особенностью водо-водяных реакторов является то, что в них обычная вода является одновременно и теплоносителем, и замедлителем. В этом заключается существенное преимущество водо-водяных реакторов, так как вода – легкодоступный и дешевый материал. Освоенные в настоящее время промышленностью конструкционные материалы могут длительное время работать в контакте с водой. Для обеспечения заданного качества воды используется технология подготовки, применяемая в обычной теплоэнергетике.

В отечественной практике водо-водяные реакторы с водой под давлением называют также водо-водяными энергетическими реакторами (ВВЭР). В реакторах с водой под давлением вода находится в однофазном состоянии, то есть кипение не допускается. Давление воды находится в пределах 15÷20 МПа, что позволяет получить температуру на выходе из реактора 320÷330 °С. В реакторах с кипением (ВВРК) вода находится в двухфазном состоянии - в виде пароводяной смеси с массовым паросодержанием на выходе из реактора 15÷30 %. Давление теплоносителя в этих реакторах составляет 6÷7 МПа, что соответствует температуре насыщения 275÷285 °С.

Водо-водяные реакторы – наиболее распространенный тип реакторов за рубежом. Широко используются такие реакторы и у нас в стране. Это наиболее компактные из всех реакторов на тепловых нейтронах. Первый реактор с водой под давлением был пущен в СССР на Нововоронежской АЭС, первый блок которой с реактором ВВЭР-210 к настоящему времени выведен из эксплуатации (цифра в обозначении указывает электрическую мощность в МВт).

В 70-х годах серийно выпускались реакторы ВВЭР-440, работавшие на Нововоронежской, Кольской АЭС и АЭС в Болгарии, Финляндии.

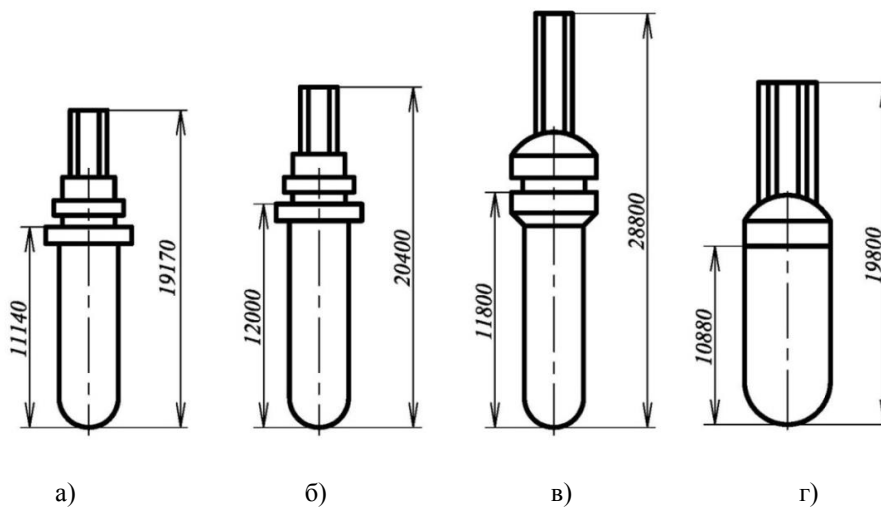
Принципиальная тепловая схема реактора ВВЭР-1000, используемого на АЭС, приведена на рисунке 2, она типична для всех современных ВВРД. В первом контуре циркулирует не кипящая вода под давлением 16 МПа. Это давление, с учетом некоторого запаса до кипения, определяет и температуру воды на выходе из реактора, которая в ВВЭР-1000 равна 322°C. В парогенераторе второго контура генерируется нерадиоактивный насыщенный пар.



**Рис. 2.** Принципиальная тепловая схема реактора ВВЭР-1000: 1 – реактор; 2 – первый контур; 3 – емкость системы аварийного расхолаживания реактора; 4 – компенсатор объема; 5 – второй контур; 6 – парогенератор; 7 – главный циркуляционный насос; 8 – главные запорные задвижки

В развитии реакторов ВВРД прослеживается характерная для всех типов реакторов тенденция увеличения единичной мощности. На рисунке 3 приведены размеры корпусов реакторов различной мощности. Однако сейчас габариты корпусов ВВЭР-1000 близки к пределам, устанавливаемым технологией изготовления и возможностями их транспортировки.

Особое внимание уделяется разработке мер, повышающих безопасность ядерных реакторов. Так, если первые реакторы ВВЭР имели аварийные системы подпитки первого контура, рассчитанные на течи в десятки тонн воды в час, то современные системы аварийного охлаждения способны обеспечить охлаждение активной зоны при разрыве главного трубопровода первого контура.



**Рис. 3.** Габариты отечественных реакторов серии ВВЭР: а) ВВЭР-210; б) ВВЭР-365; в) ВВЭР-440; г) ВВЭР-1000

В таблице 2 представлены основные характеристики отечественных реакторов серии ВВЭР.

Таблица 2

## Основные характеристики реакторов ВВЭР

Характеристика	ВВЭР-210	ВВЭР-365	ВВЭР-440	ВВЭР-1000	ВВЭР-1200
Год пуска	1964	1969	1971	1980	2013
Мощность, МВт					
-электрическая	210	365	440	1000	-
-тепловая	760	1320	1375	3000	3200
КПД, %	27,6	27,6	32,0	33,0	>35,0
Давление пара перед турбиной, МПа	2,9	2,9	4,4	6,0	7,0
Давление в первом контуре, МПа	10,0	10,5	12,5	16,0	16,5
Температура воды, °С					
-на входе в реактор	250,0	250,0	269,0	289,0	298,6
-на выходе из реактора	269,0	275,0	300,0	319,0	329,7
Диаметр активной зоны, м	2,88	2,88	2,88	3,12	-
Высота активной зоны, м	2,50	2,50	2,50	3,55	-
Диаметр ТВЭЛа, мм	10,2	9,1	9,1	9,1	-
Число ТВЭЛов в кассете	90	126	126	317	-
Загрузка урана, т	38	40	42	75	-
Среднее выгорание топлива, МВт·сут/кг	13,0	27,0	28,6	40,0	>50
Среднее обогащение урана, %	2,0	3,0	3,5	3,3÷4,4	4,7÷4,8

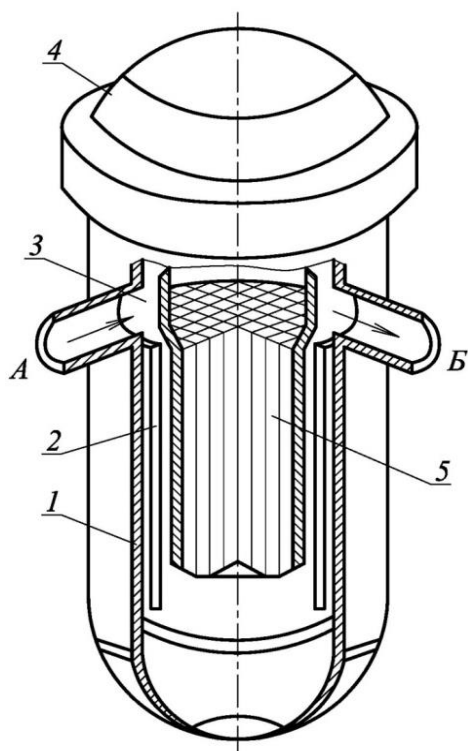
**3. Конструктивные особенности ВВРД.** В процессе развития и внедрения в ядерную энергетику реакторов с водой под давлением сформировались следующие основные решения при разработке конструкции ВВРД.

Корпус реактора изготавливается из высокопрочной стали, обладающей достаточной радиационной и коррозионной стойкостью, технологичностью. Для изготовления корпуса использовались стали 48ТС-3-40 (для реактора ВВЭР-440) и 15Х2НМФА (для реактора ВВЭР-1000). Легирующие добавки этой стали - хром (до 3 %), молибден (до 0,8 %) и ванадий (до 0,35 %) обеспечивают следующие механические свойства при 20 °С:  $\sigma_B = 580 \div 750$  МПа,  $\sigma_{0,2} = 440$  МПа,  $\delta = 14$  %, НВ = 187÷229; при 350 °С  $\sigma_B = 500$  МПа,  $\sigma_{0,2} = 400$  МПа,  $\delta = 14$  %. Эта сталь обладает достаточно высокой радиационной стойкостью, хорошо сваривается и коррозионно устойчива. Сталь 15Х2НМФА обладает схожими механическими свойствами и более высокими технологическими качествами, для обеспечения высокой прочности корпуса вход и выход теплоносителя делают выше активной зоны, что позволяет выполнить нижний полукорпус без отверстий и патрубков, с минимальным количеством сварных швов.

Все устройства, помещаемые внутри корпуса, позволяют извлекать их для ремонта, замены и контроля внутренней поверхности корпуса. Для удобства эксплуатации все органы системы управления, регулирования и защиты реактора располагаются в верхней его части. Тепловыделяющие обертки помещаются в выемную корзину, днище которой является опорной конструкцией активной зоны, движение теплоносителя всегда снизу-вверх, что обеспечивает охлаждение ТВС в режиме естественной циркуляции. Различают следующие основные элементы конструкции ВВРД: корпус реактора с крышкой; активная зона; органы си-

стемы управления и защиты реактора СУЗ; тепловыделяющие сборки; внутрикорпусные устройства (корзина активной зоны, тепловые экраны, блок труб теплоносителя и др.) [1-8].

Принципиальная конструкция водо-водяного реактора под давлением представлена на рисунке 4.



**Рис. 4.** Принципиальная схема ВВРД: А – входной патрубок; Б – выходной патрубок; 1 – корпус реактора; 2 – тепловой экран; 3 – корзина активной зоны; 4 – крышка; 5 – активная зона

Теплоноситель (вода) поступает через входные патрубки А и опускается в нижнюю часть реактора по тракту, образуемому корпусом реактора 1 и корзиной активной зоной 3, охлаждая при этом корпус, тепловой экран и наружную поверхность корзины активной зоны. В нижней части реактора теплоноситель разворачивается и, попадая снизу в активную зону, движется вверх по ее каналам. Нагретая в этой зоне вода через систему отверстий выходит, через выходные патрубки Б. Корпус закрыт крышкой 4, через систему отверстий, в которой (на схеме не показаны) в активную зону проходят стержни СУЗ. Крышка к корпусу крепится при помощи шпилек. Одним из важнейших элементов конструкции ВВРД является корпус. Его габариты и физико-механические свойства в основном определяют мощность реактора и параметры теплоносителя (температуру и давление) первого контура.

Герметичность корпуса и первого контура теплоносителя является главным фактором, определявшим ядерную безопасность при эксплуатации таких реакторов. Поэтому сохранение герметичности корпуса в любых ситуациях, включая аварийные, является важнейшим требованием при проектировании, изготовлении и эксплуатации.

Корпус ВВЭР представляет собой вертикальный цилиндрический сосуд с эллиптическим днищем и сферической крышкой. Корпус серийного ВВЭР-440 имеет массу более 200 тонн и внутренний объем свыше 120 м<sup>3</sup>. Верхняя часть корпуса имеет фланец с отверстиями для шпилек, на которых крепится крышка. Крышка корпуса изготавливается из того же материала, что и корпус реактора. Масса крышки ВВЭР-440 составляет 44,5 тонн. Для обеспечения коррозионной стойкости по всей внутренней поверхности корпуса осуществляется нержавеющая наплавка толщиной до 20 мм. Материал наплавки – сталь аустенитного класса типа ОХ18Н10Т. На крышке реактора размещаются исполнительные механизмы СУЗ, детекторы контроля температур и энерговыделений. Верхнюю крышку с размещенным на ней оборудованием называют также верхним блоком реактора.

Корпусные реакторы помещаются в шахту, которая сверху закрывается защитной плитой для предотвращения воздухообмена между центральным залом реактора и объемом шахты. В целях радиационной безопасности с помощью специальной вентиляции в объеме шахты создается небольшое разрежение, поэтому воздух может попадать только из центрального зала в шахту, откуда он удаляется через фильтры в специальную вентиляцию.

**Вывод.** В работе рассмотрены принципиальные схемы и режимы работы канального водо-графитового и корпусного водо-водяного реактора, определены их преимущества и недостатки. Выявлено, что преимуществом корпусных реакторов является компактность, отсутствие разветвленной сети трубопроводов, меньшее количество контрольно-измерительных приборов, более простой монтаж и обслуживание, большая надежность в эксплуатации [20-23]. Недостатком является проблема изготовления и доставки корпуса реактора к месту сооружения, лимитируется мощность реактора. Канальные реакторы не ограничены по мощности, однако к недостаткам канальных реакторов следует отнести большие затраты времени и труда при их монтаже, большой объем обслуживающего персонала и оборудования.

#### Библиографический список

1. **Gorlinskii, Yu. E.** Securing the radiological safety of people and the environment at all stages of the life cycle of floating nuclear heat-and-power plants / Yu.E. Gorlinskii, V.A. Kut'Kov, V.N. Lystsov, V.I. Makarov, N.V. Murzin, V. D. Pavlov // *Atomic Energy*. – 2009. – № 2(107). – С.122-129.
2. **Ми́рам, О.** Теплоснабжение от атомных источников / О. Ми́рам // *Сантехника, отопление, кондиционирование*. – 2010. – №7(103). – С.48-49.
3. **Пузаков, В. С.** Теплоснабжение от АЭС в Европе / В.С. Пузаков // *Сантехника, отопление, кондиционирование*. – 2013. – №3(135). – С. 60-63.
4. **Aminov, R. Z.** Safety assessment of a nuclear power plant with gas-turbine back-up for internal needs / R.Z. Aminov, V.T. Beresh // *Atomic Energy*. – 2004. – № 6 (96) – С.434-438.
5. **Sokolov, A. S.** Numerical simulation of the thermal conditions in a sea bay water area used for ater supply to nuclear power plants / A.S. Sokolov // *Power Technology and Engineering*. – 2013. – №2(47). – С.139-142.
6. **Gagarinski, A.** Bilibino heat and power for Russia's northern regions / A. Gagarinski // *Nuclear Engineering International*. – 1995. – №40. – С.14-15.
7. **Мурамович, В.Г.** Альтернатива плавучим атомным теплоэлектростанциям / В.Г. Мурамович, В.В. Петухов, Д.А. Скороходов // *Международный научный журнал Альтернативная энергетика и экология*. – 2014. – №18(158). – С.65-69.
8. **Бочаров, В. Л.** Влияние атомных тепло- и электростанций на геологическую среду (Центрально-черноземный экономический район) / В. Л. Бочаров, А. Я. Смирнова, М. Н. Бугреева // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология*. – 1996. – №1. – С.165-171.
9. **Мелькумов, В. Н.** Задача поиска оптимальной структуры тепловых сетей / В.Н. Мелькумов, И.С. Кузнецов, В.Н. Кобелев // *Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура*. – 2011. – №2. – С. 37-42.
10. **Мелькумов, В. Н.** Пожарная безопасность взрывоопасных помещений / В. Н. Мелькумов // *Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура*. – 2008. – № 2. – С.178-183.
11. **Medvedeva, O. N.** The selection of gas pipeline route on the plan of gas supplied area / O.N. Medvedeva // *Scientific Herald of the Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering. Construction and Architecture*. – 2011. – №3. – С.26-35.
12. **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.
13. **McDonald, C. F.** Mobile hybrid (nuclear/oil fired) gas turbine cogeneration power plant concept / C.F. McDonald // *Applied Thermal Engineering*. – 1998. – № 6(18). – С.353-368.
14. **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.

15. **Кожухов, Р. О.** Комбинированная выработка энергии на котельных установках / Р. О. Кожухов, Ю. А. Ярцева, Ю. С. Старокожев, В. А. Склизкоухих // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. - 2015. - № 1(1). – С.35-41.
16. **Чуйкин, С. В.** Атомные станции энергоснабжения / С. В. Чуйкин, С. Г. Тульская, Е. В. Плаксина, Д. А. Снисарь // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. - 2016. - № 2(3). – С.13-25.
17. **Мелькумов, В. Н.** Централизованное теплоснабжение от атомных станций / В. Н. Мелькумов, С. В. Чуйкин, А. И. Колосов // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. – 2016. – № 2. – С. 40-47.
18. **Колосов, А. И.** Реструктуризация городских систем газоснабжения / А.И. Колосов, М.Я. Панов // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. - 2014. - 4 (17). – С. 18-25.
19. **Манзарханова, Л. М.** Применение эксергетического метода в исследовании процессов протекающих в тепловом пункте / Л.М. Манзарханова // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. - 2014. - 4 (17). – С. 56-60.
20. **Яременко, С. А.** Пожарная безопасность объектов строительства в российской федерации / С. А. Яременко, И. И. Переславцева, Д. В. Извеков // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. - 2014. - 4 (17). – С. 110-114.
21. **Панов, М. Я.** Перспективность использования гелиоустановок горячего водоснабжения / М. Я. Панов, Д. М. Чудинов, А. И. Колосов // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. - 2016. - № 2 (42). - С. 33-39.
22. **Китаев, Д. Н.** Влияние современных отопительных приборов на регулирование тепловых сетей / Д. Н. Китаев // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. - 2014. - Т. 2. - № 4 (17). - С. 49-55.
23. **Петрикеева, Н. А.** Влияние инсоляции на интенсивность теплопоступлений в жилые помещения / Н. А. Петрикеева, Л. В. Березкина // Инженерные системы и сооружения. – Воронеж: ВГАСУ. 2010.- Вып. № 2. - С. 100-103.

#### References

1. **Gorlinskii, Yu.E.** Securing the radiological safety of people and the environment at all stages of the life cycle of floating nuclear heat-and-power plants / Yu.E. Gorlinskii, V.A. Kut'Kov, V.N. Lystsov, V.I. Makarov, N.V. Murzin, V.D. Pavlov // Atomic Energy. – 2009. – №2(107). – S.122-129.
2. **Miram, O.** Teplosnabzhenie ot atomnyh istochnikov / O. Miram // Santehnika, oto-plenie, kondicionirovanie. – 2010. – №7(103). – S.48-49.
3. **Puzakov, V.S.** Teplosnabzhenie ot AJeS v Evrope / V.S. Puzakov // Santehnika, oto-plenie, kondicionirovanie. – 2013. – №3(135). – S. 60-63.
4. **Aminov, R.Z.** Safety assessment of a nuclear power plant with gas-turbine back-up for in-ternal needs / R.Z. Aminov, V.T. Beresh // Atomic Energy. – 2004. – №6(96). – S.434-438.
5. **Sokolov, A.S.** Numerical simulation of the thermal conditions in a sea bay water area used for ater supply to nuclear power plants / A.S. Sokolov // Power Technology and Engineering. – 2013. – №2(47). – S.139-142.
6. **Gagarinski, A.** Bilibino heat and power for Russia's northern regions / A. Gagarinski // Nuclear Engineering International. – 1995. – №40. – S.14-15.
7. **Muramovich, V. G.** Al'ternativa plavuchim atomnym teplojelektrostancijam / V.G. Muramovich, V.V. Petuhov, D.A. Skorohodov // Mezhdunarodnyj nauchnyj zhurnal Al'terna-tivnaja jenergetika i jekologija. – 2014. – №18(158). – S.65-69.
8. **Bocharov, V. L.** Vlijanie atomnyh teplo- i jelektrostancij na geologicheskiju sredu (Central'no-chernozemnyj jekonomicheskij rajon) / V.L. Bocharov, A.Ja. Smirnova, M.N. Bug-reeva // Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Geologija. – 1996. – №1. – S.165-171.
9. **Mel'kumov, V. N.** Zadacha poiska optimal'noj struktury teplovyh setej / V.N. Mel'kumov, I.S. Kuznecov, V.N. Kobelev // Nauchnyj vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Stroitel'stvo i arhitektura. – 2011. – №2. – S. 37-42.
10. **Mel'kumov, V. N.** Pozharnaja bezopasnost' vzryvoopasnyh pomeshhenij / V.N. Mel'kumov // Nauchnyj vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Stroitel'stvo i arhitektura. – 2008. – №2. – S.178-183.
11. **Medvedeva, O. N.** The selection of gas pipeline route on the plan of gas supplied area / O.N. Medvedeva // Scientific Herald of the Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering. Construction and Architecture. – 2011. – №3. – S.26-35.
12. **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.
13. **McDonald, C. F.** Mobile hybrid (nuclear/oil fired) gas turbine cogeneration power plant concept / C.F. McDonald // Applied Thermal Engineering. – 1998. – №6(18). – S.353-368.

14. **Mel'kumov, V. N.** Jekologicheskaja bezopasnost' i tehniko-jekonomicheskaja jeffek-tivnost' predpriyatij po szhiganiyu 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.

15. **Kozhuhov R. O.** Kombinirovannaja vyrabotka jenergii na kotel'nyh ustanovkah / R.O. Kozhuhov, Ju.A. Jarceva, Ju.S. Starokozhev, V.A. Sklizkouhiih // Gradostroitel'stvo. Infrastruktura. Kommunikacii. - 2015. - №1(1). – S.35-41.

16. **Chujkin, S. V.** Atomnye stancii jenergosnabzhenija / S.V. Chujkin, S.G. Tul'skaja, E.V. Plaksina, D.A. Snisar' // Gradostroitel'stvo. Infrastruktura. Kommunikacii. - 2016. - №2(3). – S.13-25.

17. **Mel'kumov, V. N.** Centralizovannoe teplosnabzhenie ot atomnyh stancij / V. N. Mel'kumov, S. V. Chujkin, A. I. Kolosov // Nauchnyj vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Stroitel'stvo i arhitektura. – 2016. – № 2. – S. 40-47.

18. **Kolosov, A.I.** Restrukturizacija gorodskih sistem gazosnabzhenija / A.I. Kolosov, M.Ja. Panov // Nauchnyj zhurnal. Inzhenernye sistemy i sooruzhenija. 2014. - 4 (17). – S. 18-25.

19. **Manzarhanova, L.M.** Primenenie jeksergeticheskogo metoda v issledovanii processov protekajushhih v teplovom punkte / L.M. Manzarhanova // Nauchnyj zhurnal. Inzhenernye sistemy i sooruzhenija. - 2014. - 4 (17). – S. 56-60.

20. **Jaremenko, S.A.** Pozharnaja bezopasnost' ob#ektov stroitel'stva v rossijskoj fe-deracii / S.A. Jaremenko, I.I. Pereslavceva, D.V. Izvekov // Nauchnyj zhurnal. Inzhener-nye sistemy i sooruzhenija. - 2014. - 4 (17). – S. 110-114.

21. **Panov, M. Ja.** Perspektivnost' ispol'zovanija gelioustanovok gorjachego vodosnabzhenija / M. Ja. Pa-nov, D. M. Chudinov, A. I. Kolosov // Nauchnyj vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Stroitel'stvo i arhitektura. - 2016. - № 2 (42). - S. 33-39.

22. **Kitaev, D. N.** Vlijanie sovremennyh otopitel'nyh priborov na regulirovanie teplovyh setej / D. N. Kitaev // Nauchnyj zhurnal. Inzhenernye sistemy i sooruzhenija. - 2014. - T. 2. - № 4 (17). - S. 49-55.

23. **Petrikeeva, N. A.** Vlijanie insoljicii na intensivnost' teplopostuplenij v zhilye pomeshhenija / N. A. Petrikeeva, L. V. Berezkina // Inzhenernye sistemy i sooruzhenija. – Voronezh: VGASU. 2010.- Vyp. № 2. - S. 100-103.

## DESIGN OF NUCLEAR REACTORS

V. N. Melkumov, S. V. Chuikin, K. A. Sklyarov, S. G. Tul'skaya

*Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering*

*V. N. Melkumov, D. Sc. in Engineering, Prof., Head 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*

*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*

*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*

*S. G. Tul'skaya, 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: tcdtnkfj2014@ya.ru*

**Statement of the problem.** One of the main problems in the design of nuclear power plants is the selection of the type of nuclear reactor, which depends on the composition and operation of auxiliary equipment. In this regard, it becomes relevant to study of the advantages and disadvantages of the reactors of different designs.

**Results.** Reviewed concepts and modes of operation channel water-graphite structure-borne and water-water reactor, determine their advantages and disadvantages.

**Conclusions.** Advantage type reactor is its compactness, the absence of an extensive network of pipelines, less the amount of instrumentation, a more simple installation and maintenance, great reliability in operation. The disadvantage is the problem of manufacturing and delivery of the reactor vessel to the site of the structures is limited by the capacity of the reactor. Channel reactors is not limited in power, however, the disadvantages of channel reactors should be classified as a large expenditure of time and labor when installing, the larger volume of personnel and equipment.

**Keywords:** the thermal power, nuclear power, nuclear reactor, thermal circuit of the reactor.

УДК 697.1

## ПРИНЦИП ДИНАМИЧЕСКОГО ОТОПЛЕНИЯ КАК ПРИМЕР ПРАКТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЗАКОНОВ ТЕРМОДИНАМИКИ

Б. М. Кумицкий, Е. В. Плаксина, Н. А. Саврасова

---

*Воронежский государственный архитектурно-строительный 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*

*Воронежский государственный архитектурно-строительный университет*

*Е. В. Плаксина, аспирант кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела*

*Россия, г. Воронеж, тел.: +7 (473)271-53-21, e-mail: plaksina@vgasu.vrn.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*

---

**Постановка задачи.** Теплота, полученная при сжигании топлива, используется не для непосредственного обогрева отапливаемого помещения, а по крайней мере частично, направляется в тепловую машину для получения механической работы по схеме.

**Результаты и выводы.** Динамическое отопление – это система отопления, включающая топку, нагреватель и холодильник, дающая возможность передавать помещению больше тепла, чем топка в отдельности, так как помещению также передается тепло из окружающей среды.

**Ключевые слова:** динамическое отопление, тепловой двигатель, холодильная машина, система отопления.

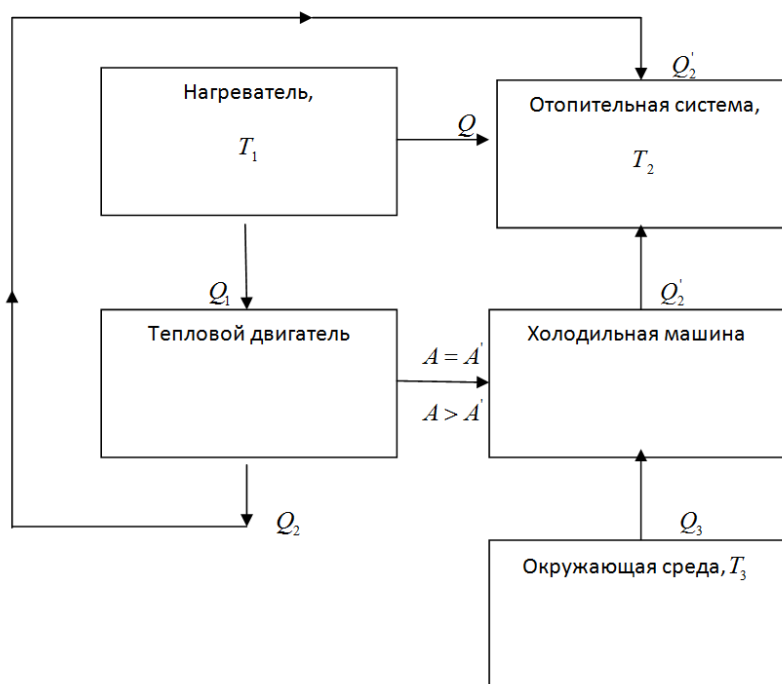
**Введение.** Отопительная система, которая включает топку, нагревательные элементы и холодильную установку, называется системой динамического отопления. Она даёт возможность передавать в воздух отапливаемых помещений значительно больше тепла, чем отдельная топка. Организация и устройство такой системы отопления имеет существенные технологические трудности; она требует значительных вложений средств. Эти причины становятся сдерживающими факторами, которые препятствуют широкому распространению такого типа отопительной системы. Возможно, вскоре динамическое отопление станет равноправной составной частью инженерно-технических коммуникаций, но для этого требуется всё более широкая централизация отопления. Принцип действия отопительной системы динамического типа является интересным примером использования законов термодинамики для бытовых целей.

Идея динамического отопления, озвученная в 1852 г. В. Томсоном, заключается в следующем [1]. Теплота, полученная при сжигании топлива, используется не для непосредственного обогрева отапливаемого помещения, а по крайней мере частично, направляется в тепловую машину для получения механической работы по схеме, изображенной на рис. 1

Итак, топливо сжигается в топке теплового двигателя, который приводит в действие холодильную машину. Последняя отнимает теплоту от природного резервуара воды (например, от грунтовой) и отдаёт её теплоносителю отопительной системы, который одновременно служит холодильником теплового двигателя. Количество тепла без учёта потерь, которое получает отапливаемое помещение от сжигания, например, 1 кг каменного угля, можно подсчитать, если считать известными: удельную теплоту сгорания угля, температуру в котле паровой машины, отопительной системы и грунтовой воды. Выясним преимущества динамического отопления.

---

Если имеется источник энергии, с помощью которого можно получить механическую работу  $A$ , то при непосредственном отоплении количество теплоты  $Q_1$ , поступающее в отопительную систему, равно этой работе.



**Рис. 1.** Схема динамического отопления, в которой холодильником тепловой машины служит теплоноситель отопительной системы

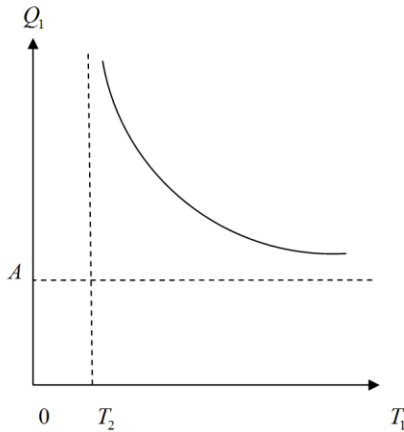
Например, в электронагревательных приборах вся потребляемая электроэнергия (работа электрического тока) превращается в теплоту [2]. Если же эту работу использовать для приведения в действие холодильной машины, то получаемая теплота  $Q_1$ , при этом будет больше совершаемой работы  $A(Q_1 > A)$ . Если температура воды в системе отопления равна  $T_1$ , а грунтовой воды -  $T_2$ , причем  $T_2 < T_1$ , то из условия  $\frac{A}{Q_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1}$  получим зависимость

$$Q_1 = \frac{A}{1 - \frac{T_2}{T_1}} \quad (1)$$

График этой зависимости изображен на рис.2.

Видно, что чем меньше отличается температура отопительной системы  $T_1$  от температуры окружающей среды  $T_2$ , тем больший выигрыш даёт такая система по сравнению с непосредственным превращением работы в теплоту. При очень большой разности температур  $T_1$  и  $T_2$  динамическая система отопления не даёт заметного преимущества ( $Q_1 \rightarrow A$ ).

Проведенный анализ говорит о том, что данная система динамического отопления может работать в холодное время года, используя для производства работы разности температур, имеющих в природных условиях, например в северных регионах, когда существует температурный градиент между наружным воздухом и водой под льдом.



**Рис.2.** Зависимость теплоты, поступающей в отопительную систему от температуры теплоагента

Работа, полученная при сравнительно малых разностях температур, может быть использована для осуществления цикла динамического отопления [3]. Как показал анализ, чем ниже будет температура наружного воздуха, тем большую работу дает тепловой двигатель и большее количество тепла может быть получено с помощью цикла динамического отопления. Кроме того, использование динамического отопления экономически целесообразно, когда расходы его сооружения и эксплуатации компенсируются стоимостью сэкономленного топлива. Общее количество тепла, поступающего в отопительную систему при динамическом отоплении, может превзойти тепло, полученное от топки при обычном способе отопления, так как в первом случае тепло поступает, и от горячей топки, и от холодной окружающей среды.

С этой целью, для простоты рассуждений, предположим, что всё тепло от точки передаётся рабочему телу теплового двигателя ( $Q=0$  в схеме рис.1). Если  $T_1, T_2, T_3$  – соответственно температуры точки, отопительной системы и окружающей среды и топка отдала двигателю тепло  $Q_1$ , то двигатель совершит механическую работу  $A$ , равную:

$$A = Q_1 - Q_2, \quad (2)$$

где  $Q_2$  - часть тепла, поступающая на отопление помещения.

Холодильная машина отобрала тепло  $Q_1$  от окружающей среды и передала помещению количество  $Q_2$  тепла, на что затрачена механическая работа  $A'$  равная:

$$A' = Q_2 - Q_3. \quad (3)$$

Если обе машины идеальные, то вся работа двигателя тратится на приведение в действие холодильной машины. В этом случае  $A = A'$ .

С учетом потерь  $A > A'$ , что означает

$$Q_1 - Q_2 > Q_2' - Q_3, \quad (4)$$

т.е. всегда

$$Q_1 - Q_2 \geq Q_2' - Q_3 \text{ или } Q_3 \geq Q_2 + Q_2' - Q_1. \quad (5)$$

Если тепловой двигатель и холодильную машину вместе можно рассматривать как термодинамическую систему, совершившую замкнутый цикл, то можно считать, что в этом круговом процессе система получила:

- а)  $Q_1$  - тепло от топки при температуре  $T_1$ ;
- б)  $(Q_2 + Q'_2)$  - тепло от помещения при температуре  $T_2$ ;
- в)  $Q_3$  - тепло от окружающей среды при температуре  $T_3$ .

Используя неравенство Клаузиуса

$$\frac{Q_1}{T_1} - \frac{Q_2 + Q'_2}{T_2} + \frac{Q_3}{T_3} \leq 0, \tag{6}$$

с условием (5), получим

$$(Q_2 + Q'_2) \cdot \left( \frac{1}{T_3} - \frac{1}{T_2} \right) - Q_1 \cdot \left( \frac{1}{T_3} - \frac{1}{T_1} \right) \leq 0. \tag{7}$$

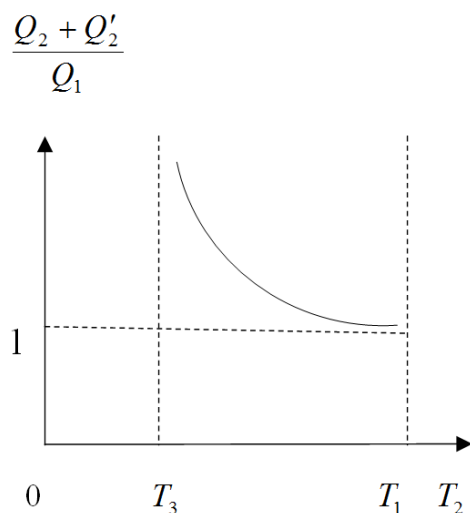
Учитывая, что  $T_1 > T_2 > T_3$ , находим

$$Q_2 + Q'_2 \leq \frac{\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1}}{\frac{1}{T_3} - \frac{1}{T_2}} \cdot Q_1. \tag{8}$$

Для квазистатических процессов выражение (8) превращается в равенства так как  $T_1 > T_2$ , то  $\frac{1}{T_3} - \frac{1}{T_2} > \frac{1}{T_3} - \frac{1}{T_1}$ , а это значит, что

$$Q_2 + Q'_2 > Q_1. \tag{9}$$

На рис. 3 представлена безразмерная зависимость  $\frac{Q_2 + Q'_2}{Q_1}$ , от температуры отопляемого помещения  $T_2$  при фиксированных температурах «нагревателя» и «холодильника»  $T_2$ .



**Рис. 3.** Зависимость отношения количества теплоты поступающего в помещение непосредственно от точки

Если же процессы не квазистатические, то тепло полученное будет меньше. Следует заметить, что при обычном способе отопления тепло  $Q_1$  от топки при температуре  $T_1$  переходит к помещению в виде такого же количества тепла, но при более низкой температуре  $T_2$ . Это есть процесс качественного обесценивания тепла. При динамическом отоплении, и в этом его преимущество, в случае квазистатических процессов такого обесценивания теплот нет [4]. Так, тепло  $Q_1$  при температуре  $T_1$  эквивалентно количественно и качественно меньшему количеству тепла  $Q_2$  при температуре  $T_2$  и запасенной работе  $A$ . Точно так же, тепло  $Q_2$ , заимствованное от холодильника при температуре  $T_2$ , полностью эквивалентно сумме меньшего количества тепла  $Q_3$  при температуре помещения  $T_2$  и запаса работы  $A$ . Первый закон термодинамики требует выполнения равенства  $Q_3 - Q_2' = A$ , но он не накладывает никаких ограничений на величину  $A$ . Ограничения накладываются вторым началом, которое в случае квазистатических процессов требует равенства:

$$\frac{Q_3}{T_3} = \frac{Q_2'}{T_2}, \text{ следовательно, } Q_2' = \frac{A}{\frac{T_3}{T_2} - 1}. \quad (10)$$

Видно, что при  $T_2 \rightarrow T_3$ ,  $Q_2' \rightarrow \infty$ .

Таким образом, сравнительные характеристики динамического и обычного способа отопления показывают, по крайней мере теоретически, некоторые преимущества динамического отопления. Так, при конкретном распределении температур  $T_1=500$  К,  $T_2=350$  К,  $T_3=300$  К при сжигании топлива в топке дающего «обычно» 1 Дж теплоты, при динамическом отоплении можно получить приблизительно 3 Дж. Для более конкретного результата необходим глубокий количественный анализ схемы, представленный на рис. 1.

**Вывод.** Динамическое отопление – это система отопления, включающая топку, нагреватель и холодильник, дающая возможность передавать помещению больше тепла, чем топка в отдельности, так как помещению также передается тепло из окружающей среды. Технологические трудности и необходимость значительных начальных вложений капитала задерживают широкое распространение этого способа отопления. Возможно, что по мере дальнейшей централизации отопления, динамическое отопление найдет широкое применение.

#### Библиографический список

1. Белоручкин, В. Е. Курс общей физики / Д. А. Залкин, Ю. М. Ципенюк / Т.2. – М.: физмат гиз, 2007.
2. Бутиков, Е. И. Физика в примерах и задачах, / А. А. Быков, Л. С. Кондратьев / М.: Наука, 1979.
3. Михельсон, В. А. Прикладная физика / В. А. Михельсон // Т.3.- вып.3-4, 1926.
4. Розенфельд, Л. М. Термодинамические циклы динамического отопления с использованием разности температур холодного времени года. Дан СССР, т.82, №3, 1952, с. 539
5. Мелькумов, В. Н. Промышленная безопасность помещений с электрооборудованием / В. Н. Мелькумов // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. - 2008. - № 3. - С. 176-182.
6. Чуйкин, С. В. Разработка программы расчета ожидаемых нагрузок ветра на провода воздушных линий электропередачи / С. В. Чуйкин, Т. В. Дорофеева, Е. О. Кшевинская // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. – 2015. – №1 (18). – С. 23-28.
7. Плаксина Е. В. Характерные особенности организации систем отопления и вентиляции в общественных помещениях / Е. В. Плаксина, Е. О. Кшевинская, Е. А. Лавлинская // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. – 2016. – № 3 (20). – С. 77-83.
8. Melkumov, V. N. Organization of air distribution of covered multipurpose ice rinks / V.N. Melkumov, S.V. Chuykin // Scientific Herald of the Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering. Construction and Architecture. -2013. - № 3. -pp. 17-28.

9. **Чуйкин, С. В.** Применение конформных отображений при решении задач вытесняющей вентиляции / С. В. Чуйкин, Р. А. Люльков // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. – 2013. – №1(10). – С. 29-36.

10. **Тулская, С. Г.** Экспериментальные исследования теплового режима производственных помещений и обеденных залов ресторанных комплексов / С. Г. Тульская, О. А. Сотникова, Ю. Г. Булыгина // Инженерные системы и сооружения. – 2012. - № 3 (8) – С. 62-70.

#### References

1. **Beloruchkin, V. E.** Kurs obshhej fiziki / D. A. Zalkin, Ju. M. Cipenjuk / T.2. – М.: fizmat giz, 2007.
2. **Butikov, E. I.** Fizika v primerah i zadachah, / A. A. Bykov, L. S. Kondrat'ev / М.: Nauka, 1979.
3. **Mihel'son, V. A.** Prikladnaja fizika / V. A. Mihel'son // T.Z.- vyp.3-4, 1926.
4. **Rozenfel'd, L. M.** Termodinamicheskie cikly dinamicheskogo otoplenija s ispol'zovaniem raznosti temperatur holodnogo vremeni goda. Dan SSSR, t.82, №3, 1952, s. 539
5. **Mel'kumov, V. N.** Promyshlennaja bezopasnost' pomeshhenij s jelektrooborudovaniem / V. N. Mel'ku-mov // Nauchnyj vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Stroitel'stvo i arhitektura. - 2008. - № 3. - S. 176-182.
6. **Chujkin, S. V.** Razrabotka programmy rascheta ozhidaemyh nagruzok vetra na provoda vozdušnyh li-nij jelektroperedachi / S. V. Chujkin, T. V. Dorofeeva, E. O. Kshevinskaja // Nauchnyj zhurnal. Inzhenernye si-stemy i sooruzhenija. – 2015. – №1 (18). – S. 23-28.
7. **Plaksina E. V.** Harakternye osobennosti organizacii sistem otoplenija i ventiljacii v obshhestven-nyh pomeshhenijah / E. V. Plaksina, E. O. Kshevinskaja, E. A. Lavlinskaja // Nauchnyj zhurnal. Inzhenernye siste-my i sooruzhenija. – 2016. – № 3 (20). – S. 77-83.
8. **Melkumov, V. N.** Organization of air distribution of covered multipurpose ice rinks / V.N. Melkumov, S.V. Chuykin // Scientific Herald of the Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering. Construction and Architecture. -2013. - № 3. -pp. 17-28.
9. **Chujkin, S. V.** Primenenie konformnyh otobrazhenij pri reshenii zadach vytesnjajushhej ventiljacii / S. V. Chujkin, R. A. Ljul'kov // Nauchnyj zhurnal. Inzhenernye sistemy i sooruzhenija. – 2013. – №1(10). – С. 29-36.
10. **Tul'skaja, S. G.** Jeksperimental'nye issledovanija teplovogo rezhima proizvodstvennyh pomeshhenij i obedennyh zalov restorannyh kompleksov / S. G. Tul'skaja, O. A. Sotnikova, Ju. G. Bulygina // Inzhenernye sistemy i sooruzhenija. – 2012. - № 3 (8) – S. 62-70.

## PRINCIPLE OF DYNAMIC HEATING AS EXAMPLE OF PRACTICAL USE OF LAWS OF THERMODYNAMICS

B. M. Kumitsky, E. V. Plaksina, N. A. Savrasova

*Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering*

*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*

*E. V. Plaksina, graduate student, of Dept. of Heat and Gas Supply and oil and gas business*

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

**Problem statement.** The warmth received at combustion of fuel is used not for direct heating of the heated room, and at least partially, goes to the thermal car for receiving mechanical work on the scheme.

**Results and conclusions.** Dynamic heating is the system of heating including a fire chamber, the heater and the refrigerator, giving the chance to transfer to the room more heat, than a fire chamber separately as heat from environment is also transferred to the room.

**Keywords:** dynamic heating, heat engine, refrigerator, system of heating.

УДК697.97:628.83

## ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ В СИСТЕМАХ ОБЕСПЕЧЕНИЯ МИКРОКЛИМАТА ЗДАНИЙ ПРИ УТИЛИЗАЦИИ ТЕПЛОТЫ ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ ВЫБРОСОВ

Т. В. Щукина, М. Н. Жерлыкина, С. А. Соловьев, П. И. Манцуров

---

*Воронежский государственный архитектурно-строительный университет*

*Т. В. Щукина, канд. техн. наук доцент кафедры жилищно-коммунального хозяйства*

*Россия, г. Воронеж, тел.: +7(473)271-28-92, e-mail: schukina.niki@yandex.ru*

*М. Н. Жерлыкина, канд. техн. наук доцент кафедры жилищно-коммунального хозяйства*

*Россия, г. Воронеж, тел.: +7 (473)271-28-92, e-mail: vgasu.gkh@gmail.com*

*С. А. Соловьев, ассистент кафедры жилищно-коммунального хозяйства*

*Россия, г. Воронеж, тел.: +7(473)271-28-92, e-mail: vgasu.gkh@gmail.com*

*П. И. Манцуров, студент кафедры жилищно-коммунального хозяйства*

*Россия, г. Воронеж, тел.: +7 (473)271-28-92, e-mail: vgasu.gkh@gmail.com*

---

**Постановка задачи.** Воздух, удаляемый системами общеобменной и местной вентиляции, имеет достаточный энергетический потенциал, который целесообразно утилизировать. Для этой цели используется различное теплообменное оборудование, позволяющее нагреть наружный приточный воздух, подаваемый в обслуживаемые помещения. По эффективности процессов утилизации первые позиции занимают регенеративные вращающиеся теплообменники, для которых характерны переменные значения коэффициента теплопередачи в компактной аккумулирующей насадке.

**Результаты и выводы.** Предложена зависимость, отражающая периодическое изменение данного показателя по поверхности теплообмена. Получено уравнение для определения температуры воздуха с учетом прогнозируемых параметров процесса утилизации.

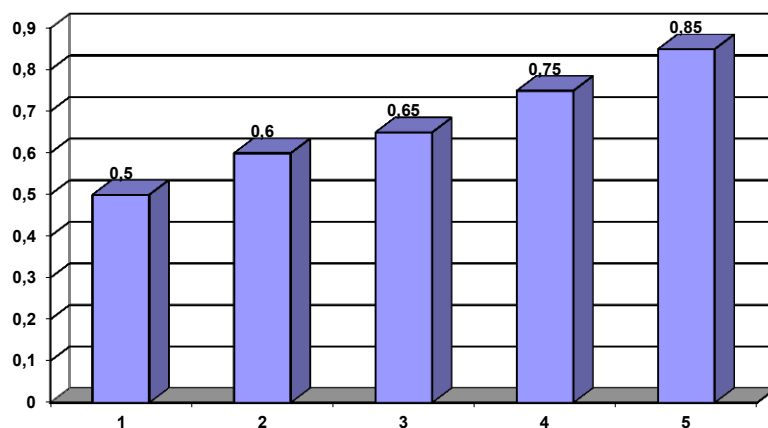
**Ключевые слова:** утилизация теплоты вентиляционных выбросов, регенеративный вращающийся теплоутилизатор.

**Введение.** В производственных и общественных зданиях значительное количество тепловой энергии расходуется на нагревание приточного воздуха, подаваемого в обслуживаемые помещения. Но организовать энергосберегающий воздухообмен можно при проектировании систем с устройствами, утилизирующими теплоту вентиляционных выбросов [6-11].

Широкий ряд применяемого для этих задач оборудования позволяет экономить энерго-ресурсы посредством теплообменников, подобранны с учетом конкретных условий эксплуатации и в соответствии с нормируемой гигиеной внутреннего воздуха помещений. Но, не смотря на предъявляемые при проектировании систем вентиляции требования, которым должны отвечать, в том числе, и теплоутилизаторы, в первую очередь оценивают их эффективность по КПД.

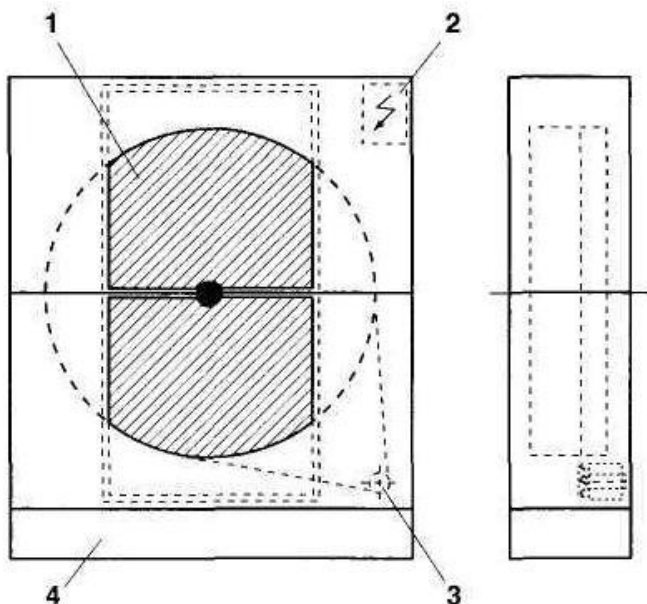
Практика длительной эксплуатации устройств данного класса доказала преимущество регенеративных вращающихся теплообменников (рис. 1, 2) по эффективности утилизации [1, 2, 3, 5].

Это объясняется, прежде всего, развитой поверхностью теплообмена и высокой ее компактностью, достигающей  $3000-3500 \text{ м}^2/\text{м}^3$ , что в других конструкциях теплоутилизаторов создать не представляется возможным. Однако при столь существенном преимуществе, они



**Рис. 1.** Максимальные значения коэффициентов эффективности теплообмена при равных массовых расходах воздуха в зависимости от конструкции теплоутилизаторов: 1 – два теплообменника с промежуточным теплоносителем; 2 – рекуперативный пластинчатый теплообменник; 3 – фитильные теплопередающие трубы; 4, 5 – регенеративный вращающийся, соответственно, с насадкой несорбирующей и поглощающей водяные пары

обладают недостатком, который проявляется в частичном попадании удаляемого воздуха в поток приточного. Поэтому данные аппараты не могут быть использованы в медицинских учреждениях и производственных зданиях, где предъявляются особые требования к чистоте внутреннего воздуха помещений. Но если условиями проектирования не введены подобные ограничения, то регенеративные вращающиеся теплообменники являются эффективным решением для задач энергосбережения.



**Рис. 2.** Секция вращающегося регенеративного теплоутилизатора: 1 – вращающаяся насадка из гофрированных алюминиевых пластин; 2 – шит управления; 3 – электропривод с клиноременной передачей; 4 – поддон

Существующее программное обеспечение для теплоутилизаторов данного класса от фирм, занимающихся их производством, позволяет подобрать требуемое оборудование и получить высокие показатели расчетных параметров воздуха, подаваемого в помещения. При этом получаемая температура приточного воздуха, как правило, требует лишь незначительного догрева, а для южных регионов позволяет отказаться от дополнительного теплообменного оборудования. Но последующая эксплуатация проектируемых систем показала, что

процесс утилизации теплоты вентиляционных выбросов происходит с отклонениями от полученных в ходе расчетов, и это является результатом принятых допущений в методиках, положенных в основу созданных пакетов прикладных программ.

**Получение уравнения для определения температуры воздуха с учетом прогнозируемых параметров процесса утилизации.** Одним из базовых положений расчетных схем является число единиц переноса энергии  $N$  [2, 4], для которого используют зависимость

$$(N)^{-1} = W_{\min} \left( \frac{1}{\alpha_y F_y} + \frac{1}{\alpha_H F_H} \right), \quad (1)$$

где  $\alpha_y, \alpha_H$  – коэффициенты теплоотдачи удаляемого и подогреваемого наружного воздуха, Вт/(м<sup>2</sup>·°С);  $F_y, F_H$  – площадь поверхности насадки в потоках удаляемого и подогреваемого наружного воздуха, м<sup>2</sup>;  $W_{\min}$  – водяной эквивалент, минимальный из двух для удаляемого и приточного воздуха, определяемый в соответствии с выражением  $W_{\min} = G_{\min} c \cdot 10^3$ , Вт/°С;  $G_{\min}$  – минимальный расход воздуха, кг/с;  $c$  – удельная теплоемкость воздуха, кДж/(кг·°С).

При равенстве поверхностей насадки  $F_y = F_H = F/2$ , омываемых удаляемым и наружным воздухом, что характерно для типичных регенеративных теплообменников, выражение (1) упрощается до вида

$$(N)^{-1} = \frac{2W_{\min}}{F} \left( \frac{1}{\alpha_y} + \frac{1}{\alpha_H} \right), \quad (2)$$

Очевидно, что правая часть выражения (2) включает коэффициент теплопередачи для регенеративных теплообменников [4, 5]

$$\frac{1}{k} = \left( \frac{1}{\alpha_y} + \frac{1}{\alpha_H} \right), \quad (3)$$

который для вращающейся насадки имеет квазистационарный режим изменения его величины по поверхности нагрева и охлаждения.

Как показывают экспериментальные исследования, на коэффициент теплопередачи больше оказывает влияние температурный режим. Достигаемый незначительный перепад температур, характерный для процессов утилизации теплоты вентиляционных выбросов [5], позволяет этой зависимостью пренебречь, а для практического применения представить коэффициент теплопередачи, как функцию поверхности нагрева в виде

$$k = b_0 + b_1 \cos \left( \frac{2\pi F_x}{F} \right), \quad (4)$$

где  $b_0, b_1$  – коэффициенты, определяемые аппроксимацией расчетных или эмпирических данных;  $F_x$  – рассматриваемая элементарная поверхность насадки, м<sup>2</sup>.

Тогда, учитывая, что движение приточного и удаляемого воздуха имеют противоточную схему, можно воспользоваться следующим дифференциальным уравнением [5]

$$d(t_y - t_H) = -k(t_y - t_H) \left( \frac{1}{W_y} - \frac{1}{W_H} \right) dF_x, \quad (5)$$

где  $t_y, t_H$  – температура удаляемого и приточного наружного воздуха, °С.

Уравнение (5) при подстановке зависимости (4) и переносе перепада температуры между удаляемым и нагреваемом наружным воздухом в левую часть приобретает вид

$$\frac{d(t_y - t_H)}{(t_y - t_H)} = - \left( b_0 + b_1 \cos \left( \frac{2\pi F_x}{F} \right) \right) \cdot \left( \frac{1}{W_y} - \frac{1}{W_H} \right) dF_x. \quad (6)$$

Интегрируя (6), получаем зависимость

$$\ln(t_y - t_H) = - \left( b_0 F_x + b_1 \frac{F}{2\pi} \sin \left( \frac{2\pi F_x}{F} \right) \right) \cdot \left( \frac{1}{W_y} - \frac{1}{W_H} \right) + C. \quad (7)$$

Постоянную интегрирования можно определить из граничного условия, которое при  $F_x=0$  будет соответствовать температурному режиму  $t_y - t_H = t_{y1} - t_{H2}$  поступающих в теплообменник для утилизации теплоты удаляемых газов  $t_{y1}$  и выходящей из него нагретой паровоздушной смеси  $t_{H2}$ , направляемой в последующем в обслуживаемые помещения. С учетом граничного условия уравнение (7) принимает вид

$$t_y - t_H = (t_{y1} - t_{H2}) e^{- \left( b_0 F_x + b_1 \frac{F}{2\pi} \sin \left( \frac{2\pi F_x}{F} \right) \right) \left( \frac{1}{W_y} - \frac{1}{W_H} \right)}. \quad (8)$$

**Вывод.** Степень экспоненты выражения (8) существенно влияет на эффективность теплообмена в утилизаторе. Поэтому учитывая возможные ее изменения следует отметить, что необходимо создавать условия снижающие влияние колебания значений коэффициента теплопередачи. Это достижимо при увеличении числа оборотов вращающейся насадки, но рост данного показателя неизбежно повлечет более интенсивное перетекание в секцию приточного воздуха удаляемых газов [9-12].

#### Библиографический список

1. **Лисиенко, В. Т.** Хрестоматия энергосбережения. Справочное издание в 2-х книгах / Под ред. В.Г. Лисиенко. – М.: Теплотехник, 2005. – 768 с.
2. **Карпис, Е. Е.** Энергосбережение в системах кондиционирования воздуха. – М.: Стройиздат, 1986. – 268 с.
3. **Щукина, Т. В.** Исследование теплообмена в аккумулирующей насадке утилизаторов теплоты систем вентиляции и кондиционирования воздуха / Т. В. Щукина, В. С. Турбин, И. И. Полосин // Изв. Вузов. Строительство. – 1994. – № 9-10. – С. 76-79.
4. **Гусовский, В. П.** Современные нагревательные и термические печи. Справочник. – М.: Теплотехник, 2007. – 656 с.
5. **Шак, А.** Промышленная теплопередача. – М.: Metallurgizdat, 1961. – 524 с.
6. **Melkumov, V. N.** Conformal mapping in mathematical modelling of air flows in remises / V.N. Melkumov, S.V. Chuikin, K.A. Sklyarov, A.I. Kolosov // Indian Journal of Science and Technology. – 2016. – Т.9, №8.
7. **Melkumov, V. N.** Modelling air flows in premises using conformal mapping / V.N. Melkumov, S.A. Kolodyazhnyi, S.V. Chuikin // Middle East Journal of Scientific Research. – 2014. Т. 22. № 1. С. 79-81.
8. **Melkumov, V. N.** Mathematical modelling of air streams in large spaces / V.N. Melkumov, A.V. Loboda, S.V. Chuikin // Scientific Herald of the Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering. Construction and Architecture. – 2015. – № 1 (25). – С. 15-24.
9. **Жерлыкина, М. Н.** Энергосбережение при кондиционировании воздуха и холодоснабжении зданий / М.Н. Жерлыкина, А.В. Холодов // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. – 2011. – № 1. – С. 51-57.
10. **Кирнова, М. А.** Организация вытяжной вентиляции разноэтажного жилого комплекса / М. А. Кирнова / Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. – 2016. – №1(2). – С. 28-37.

11. Сотникова, О. А. Адаптивные системы вентиляции торговых центров / О.А. Сотникова, Е.Г. Иванникая // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. – 2015. – № 3. – С. 44-48.
12. Колосова, Н. В. Аналитическое решение критериального уравнения теплообмена в контактно-поверхностных теплообменных аппаратах / Н. В. Колосова, К. Н. Лапшина // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. – 2015. – Т.2. – № 4. – С. 26-32.

References

1. Lisienko, V. T. Hrestomatija jenergosberezhenija. Spravochnoe izdanie v 2-h knigah/ Pod red. V.G. Lisienko. – M.: Teplotehnik, 2005.–768 s.
2. Karpis, E. E. Jenergosberezhenie v sistemah kondicionirovanija vozduha. – M.: Strojizdat, 1986. – 268 s.
3. Shhukina, T. V. Issledovanie teploobmena v akumulirovannoj nasadke utilizatorov teploty sistem ventiljacii i kondicionirovanija vozduha// Izv. Vuzov. Stroitel'stvo, 1994. - № 9-10. – S. 76-79.
4. Gusovskij, V. P. Sovremennye nagrevatel'nye i termicheskie pechi. Spravochnik. – M.: Teplotehnik, 2007. – 656 s.
5. Shak, A. Promyshlennaja teploperedacha. – M.: Metallurgizdat, 1961. – 524 s.
6. Melkumov, V. N. Conformal mapping in mathematical modelling of air flows in remises / V.N. Melkumov, S.V. Chuikin, K.A. Sklyarov, A.I. Kolosov // Indian Journal of Science and Technology. – 2016. – Т.9, №8.
7. Melkumov, V. N. Modelling air flows in premises using conformal mapping / V.N. Melkumov, S.A. Kolodyazhnyi, S.V. Chuikin // Middle East Journal of Scientific Research. – 2014. Т. 22. № 1. С. 79-81.
8. Melkumov, V. N. Mathematical modelling of air streams in large spaces / V.N. Melkumov, A.V. Loboda, S.V. Chuikin // Scientific Herald of the Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering. Construction and Architecture. – 2015. – № 1 (25). – С. 15-24.
9. Zherlykina, M. N. Jenergosberezhenie pri kondicionirovanii vozduha i holodosnabzhenii zdaniy / M.N. Zherlykina, A.V. Holodov // Nauchnyj zhurnal. Inzhenernye sistemy i sooruzhenija. – 2011. – № 1. – С. 51-57.
10. Kirnova, M. A. Organizaciya vytyazhnoj ventiljacii raznoe'tazhnogo zhilogo kompleksa / M.A. Kirnova / Gradostroitel'stvo. Infrastruktura. Kommunikacii. – 2016. – №1(2). – С. 28-37.
11. Sotnikova, O. A. Adaptivnye sistemy ventiljacii torgovyx centrov / O.A. Sotnikova, E.G. Ivanickaya // Nauchnyj zhurnal. Inzhenernye sistemy i sooruzheniya. – 2015. – № 3. – С. 44-48.
12. Kolosova, N. V. Analiticheskoe reshenie kriterial'nogo uravneniya teploobmena v kontaktno-poverxnostnyx teploobmennyx apparatax / N.V. Kolosova, K.N. Lapshina // Nauchnyj zhurnal. Inzhenernye sistemy i sooruzheniya. – 2015. – Т.2. – № 4. – С. 26-32.

## ENERGY SAVING IN SYSTEMS OF PROVIDING A MICROCLIMATE OF BUILDINGS AT UTILIZATION OF WARMTH OF VENTILATING EMISSIONS

T. V. Shchukina, M. N. Zherlykina, S. A. Soloviev, P. I. Mantsurov

---

*Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering*

*T. V. Shchukina, PhD in Engineering, Ph. D. as. of Dept. of housing and communal services  
Russia, Voronezh, tel.: +7(473)271-28-92, e-mail: schukina.niki@yandex.ru*

*M. N. Zherlykina, PhD in Engineering, Ph. D. as. of Dept. of housing and communal services  
Russia, Voronezh, tel.: +7(473)271-28-92, e-mail: vgasu.gkh@gmail.com*

*S. A. Soloviev, assistant of Dept. of housing and communal services  
Russia, Voronezh, tel.: +7(473)271-28-92, e-mail: vgasu.gkh@gmail.com*

*P. I. Mantsurov, student of Dept. of housing and communal services  
Russia, Voronezh, tel.: +7(473)271-28-92, e-mail: vgasu.gkh@gmail.com*

---

**Statement of the problem.** The air deleted by systems of ventilation has a sufficient energy potential which is expedient for utilizing. For this purpose using various heating equipment. By efficiency of processes of utilization the first positions are taken by the regenerative rotating heat exchangers of which variable values of coefficient of a heat transfer in a compact heat-sink nozzle are characteristic.

**Results and Conclusions.** The dependence reflecting periodic change of this indicator on a heat exchange surface is offered. The equation for determination of air temperature taking into account the predicted utilization process parameters is received.

**Keywords:** utilization of warmth of ventilating emissions, the regenerative rotating thermal utilizer.

УДК 628.89

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕПЛОЗАЩИТНЫХ СВОЙСТВ СВЕТОПРОЗРАЧНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

О. А. Сотникова, С. Г. Тульская

*Воронежский государственный архитектурно-строительный университет*

*О. А. Сотникова, д-р. техн. наук, проф., зав. кафедрой проектирования зданий и сооружений им. Н.В. Троицкого  
Россия, г. Воронеж, тел.: +7(473)277-43-39 e-mail: pz@vgasu.vrn.ru*

*С. Г. Тульская, канд. техн. наук, доцент кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела  
Россия, г. Воронеж, тел.: +7(473)271-53-21, e-mail: tcdtnkfyf2014@yandex.ru*

**Постановка задачи.** В данной статье приведены экспериментальное исследование полей температур на внутренних поверхностях остекления в ресторанном комплексе. Теплотехнические испытания проводились как в обеденном зале, так и в горячем цехе ресторана. Экспериментальные испытания проводились с двумя типами оконных блоков: с двойным остеклением (однокамерный стеклопакет) в пластиковых переплетах и с тройным остеклением (двухкамерный стеклопакет) в пластиковых переплетах.

**Результаты.** По результатам экспериментальных исследований построены эпюры полей температур на внутренней поверхности окон с двойным и тройным остеклением в горячем цехе и обеденном зале ресторанного комплекса.

**Выводы.** На основе экспериментальных данных теплообмена между неизотермической струей и световым проемом с однокамерным и двухкамерным стеклопакетом и отопительным прибором или без него получена средняя температура внутренних поверхностей помещения горячего цеха и обеденного зала ресторана.

**Ключевые слова:** температурное поле, ограждающие конструкции, однокамерный стеклопакет, двухкамерный стеклопакет, отопительный прибор, ресторанный комплекс

**Введение.** В целях обеспечения комфортных условий в ресторанных комплексах необходимо минимизировать перепад температур между температурой внутреннего воздуха в помещении и температурой внутренних поверхностей ограждающих конструкций. Проблемными зонами внутренних поверхностей ограждающих конструкций считаются поверхности остекления. Они имеют высокие тепловые потери в холодный и теплый период года. В настоящее время разработка методов повышения теплозащитных свойств светопрозрачных конструкций является актуальной задачей. В связи с развитием индустрии светопрозрачных конструкций интерес к данной проблеме непрерывно возрастает. Имеется ряд опытных и расчетных исследований, в которых изучаются достаточно сложные процессы теплопереноса в многослойных оконных конструкциях, и обсуждаются пути их оптимизации [1, 3, 4].

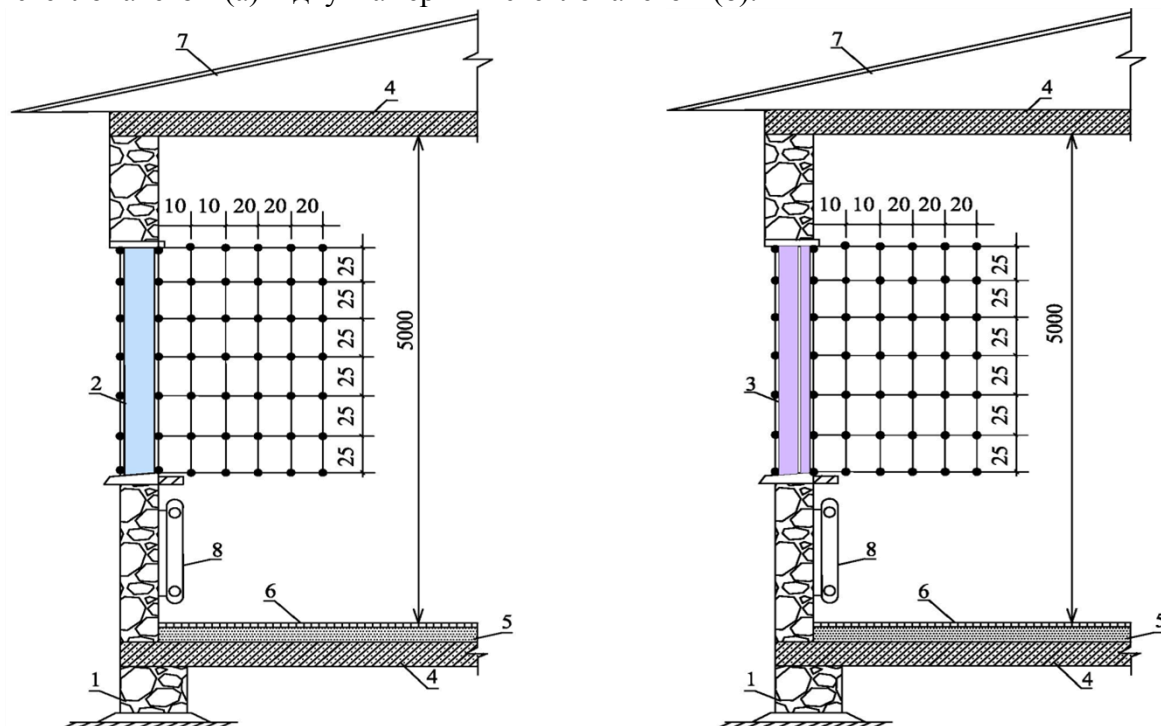
В холодный период времени в ресторанном комплексе температура поверхности остекления окон по сравнению с температурой ограждающих конструкций низкая, а в теплый период года – высокая, что приводит к созданию дискомфортных зон для нахождения людей вблизи окон. Поэтому вопросы, исследования тепловых режимов внутренних поверхностей остекления являются актуальными. Для решения этой задачи ниже представлена методика экспериментального исследования теплозащитных свойств светопрозрачных конструкций в горячих цехах и обеденных залах ресторанных комплексов.

Изучение современного состояния теории процессов формирования микроклимата отапливаемых помещений показало, что в рассмотренных работах имеет место исследование

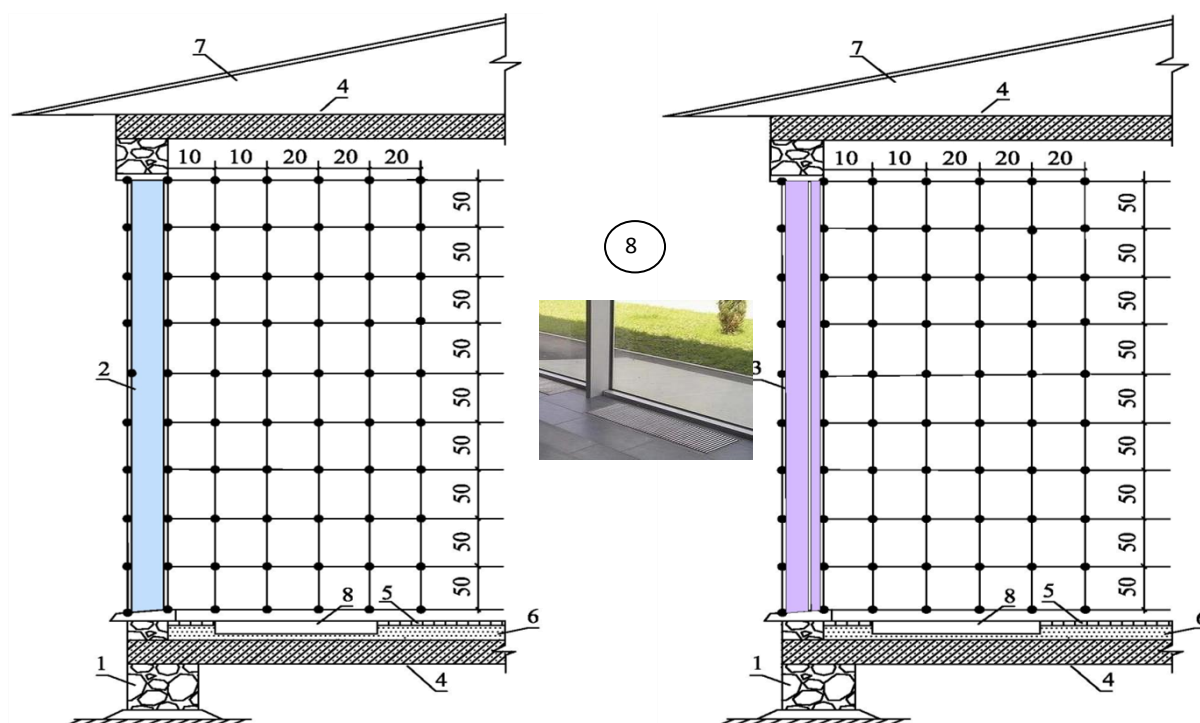
процессов переноса только в воздушном объеме помещения или в отдельно взятом ограждении. Это не позволяет достоверно оценить тепловой режим светопрозрачных конструкций (остеклений), особенно значительной высоты (в частности, панорамного остекления, которое в последнее время наиболее часто используется при сооружении ресторанных комплексов). Известны исследования, выполненные в Белорусском национальном техническом университете Захаревичем А. Э. [2], имеющие своей целью сопоставление полей параметров микроклимата в отапливаемых помещениях, однако, условия и возможность их применения нуждаются в дополнительной экспериментальной проверке.

**1. Теплотехнологические испытания температурных полей на внутренней поверхности окон с двойным и тройным остеклением.** В работе было выполнено комплексное экспериментальное исследование определения теплоотдачи внутренней поверхности остекления при установке отопительного прибора или без него были проведены теплотехнические испытания в обеденном зале и горячем цехе ресторана. В обеденном зале установлено панорамное остекление и внутриспольный конвектор, в горячем цехе - стандартное окно и биметаллический радиатор [2, 4, 5, 8]. Экспериментальные испытания были проведены в помещении с двумя типами оконных блоков: с двойным остеклением (однокамерный стеклопакет) в пластиковых переплетах и с тройным остеклением (двухкамерный стеклопакет) в пластиковых переплетах. Характер распределения температур в зоне светового проема на расстоянии 80 см от внутренней поверхности двойного и тройного остекления определялся по шести температурным сечениям. Измерения производились на внутренней и наружной поверхности остекления, а также на расстоянии 10; 20; 40; 60; 80 см от внутренней поверхности остекления.

Схема расстановки термодатчиков по отношению к поверхности остекления в горячем цехе ресторана приведена на рисунке 1 с однокамерным стеклопакетом (а) и двухкамерным стеклопакетом (б). На рисунке 2 показана расстановка термодатчиков в обеденном зале с однокамерным стеклопакетом (а) и двухкамерным стеклопакетом (б).



**Рис. 1.** Схема расположения точек замера температуры на поверхности остекления и в зоне окна в горячем цехе: 1 – керамзитобетонная панель; 2 – световой проем с двойным стеклопакетом; 3 – световой проем с тройным стеклопакетом; 4 – железобетонная плита; 5 – утеплитель; 6 – плитка; 7 – покрытие; 8 – отопительный прибор (биметаллический радиатор)



**Рис. 2.** Схема расположения точек замера температуры на поверхности панорамного остекления и в зоне окна в обеденном зале: 1 – керамзитобетонная панель; 2 – панорамное остекление с двойным стеклопакетом; 3 – панорамное остекление с тройным стеклопакетом; 4 – железобетонная плита; 5 – плитка; 6 – утеплитель; 7 – покрытие; 8 – отопительный прибор (внутрипольный конвектор)

 – однокамерный стеклопакет

 – двухкамерный стеклопакет

Термопары крепились на остекленной поверхности полимеризованным клеем, близким по теплофизическим свойствам к стеклу. Отсчеты температур по термопарам производились с применением электронных потенциометров (класс точности  $\pm 1,0$ ).

**1. Результаты теплотехнических исследований наружного остекления с однокамерным и двухкамерным стеклопакетом.** Теплотехнические испытания проводили в обеденном зале и горячем производственном цехе при внутренних  $t_e$  и наружных  $t_n$  температурах. Распределение температур в зоне двойного и тройного остекления с включенным и выключенным отопительным прибором при температурах  $t_e = 18,5$  °С и  $t_n = -5,3$  °С, при температурах  $t_e = 18,0$  °С и  $t_n = -12,2$  °С, при температурах  $t_e = 17,0$  °С и  $t_n = -19,5$  °С. В процессе проведенных этих трех серий испытаний температура  $t_n$  оставалась неизменной. Результаты теплотехнических исследований световых проемов с однокамерным и двухкамерным стеклопакетом с отключенным отопительным прибором при температурах  $t_e = 17,0$  °С и  $t_n = -19,5$  °С приведены на рисунке 3.4 и 3.6, соответственно, горячий цех и обеденный зал. На рисунках видно, что температура на внутренней поверхности однокамерного и двухкамерного стеклопакета по высоте изменяется. Наиболее низкие значения температуры оказались в нижней части у светового проема. Температура на внутренней поверхности верхней части остекления по сравнению с нижней частью была значительно выше. Изменение температур на внутренней поверхности однокамерного и двухкамерного стеклопакета около нижней пластиковой обвязки в горячем цехе составила 0,8 °С, на высоте 50 см – 1,9 °С, на высоте 100 см – 2,4 °С, на высоте 150 см – 2,8 °С и на поверхности остекления около верхнего пластикового переплета 0,7 °С и в обеденном зале нижней пластиковой обвязки составила 0,7 °С, на высоте 50 см – 0,9 °С, на высоте 150 см – 1,6 °С, на высоте 200 см – 1,8 °С, на высоте 250 см – 1,8 °С.

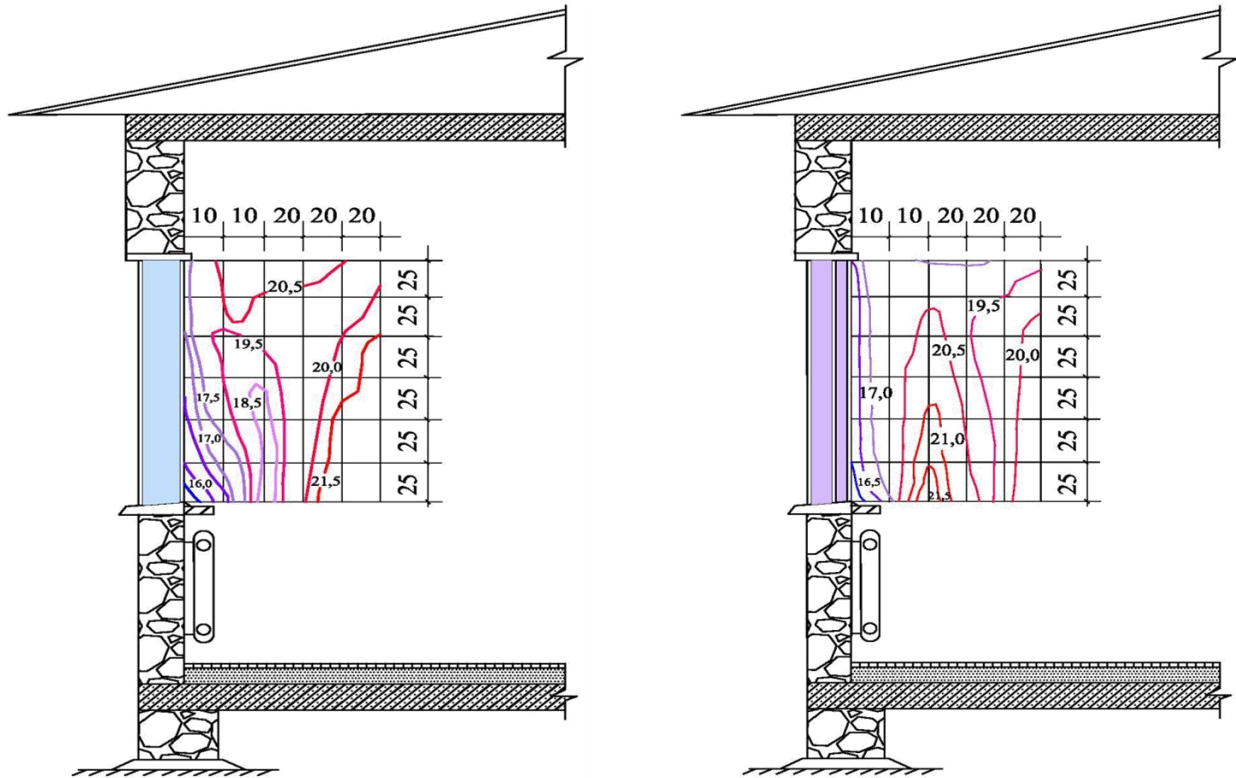


Рис. 3. Температурное поле на поверхности остекления и в зоне на неизотермической восходящей струе от отопительного прибора у внутренней поверхности светового проема в горячем цехе при температурах  $t_{\text{в}}=17,0\text{ }^{\circ}\text{C}$  и  $t_{\text{н}}=-19,5\text{ }^{\circ}\text{C}$

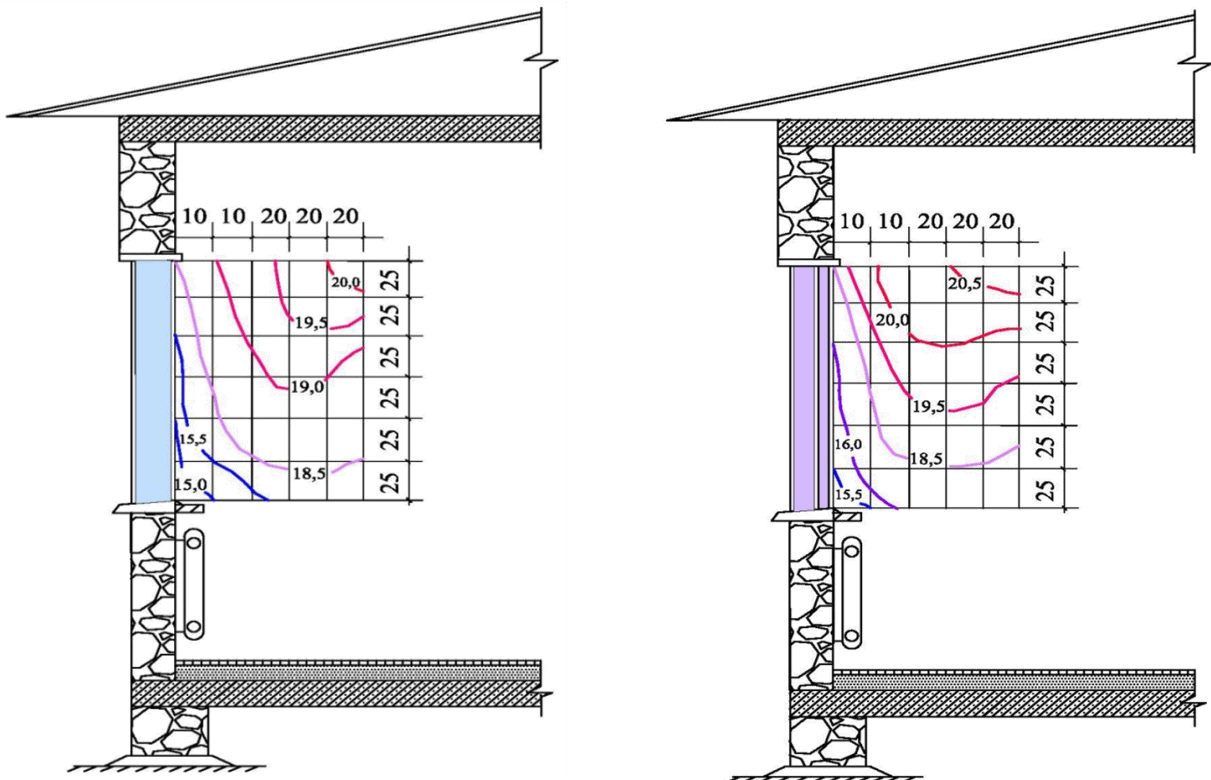
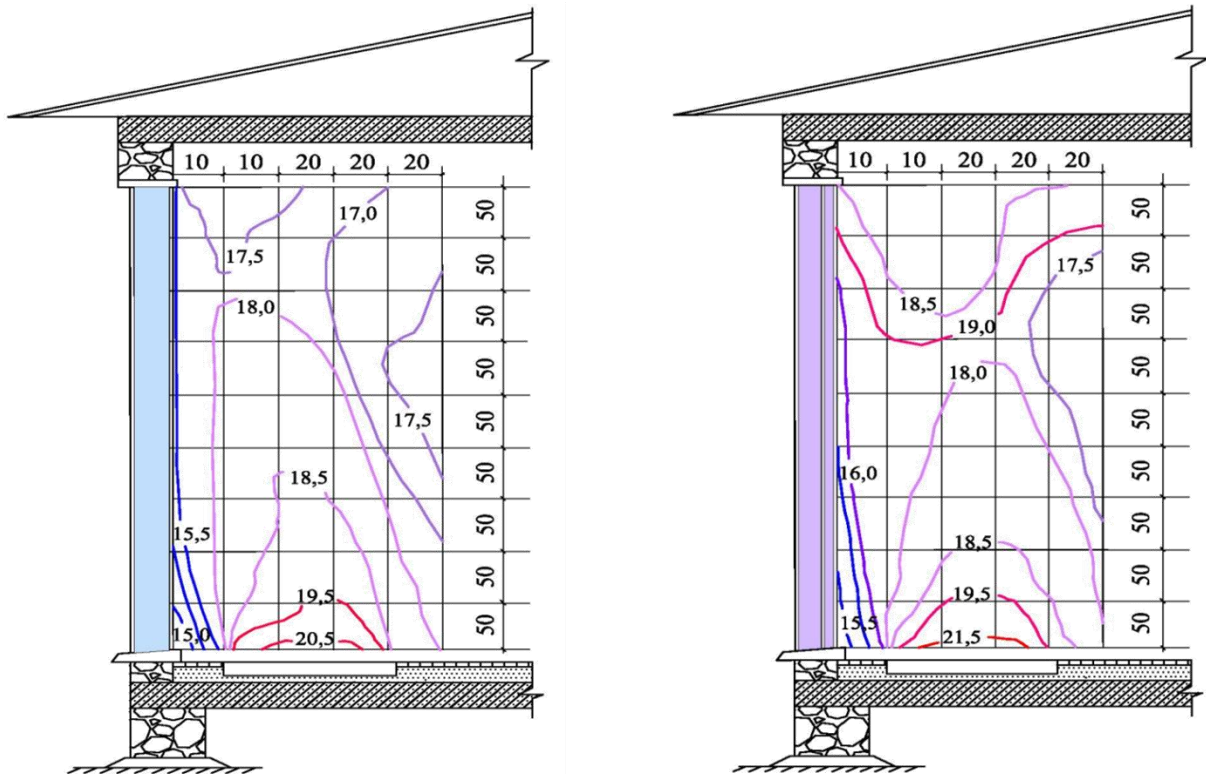
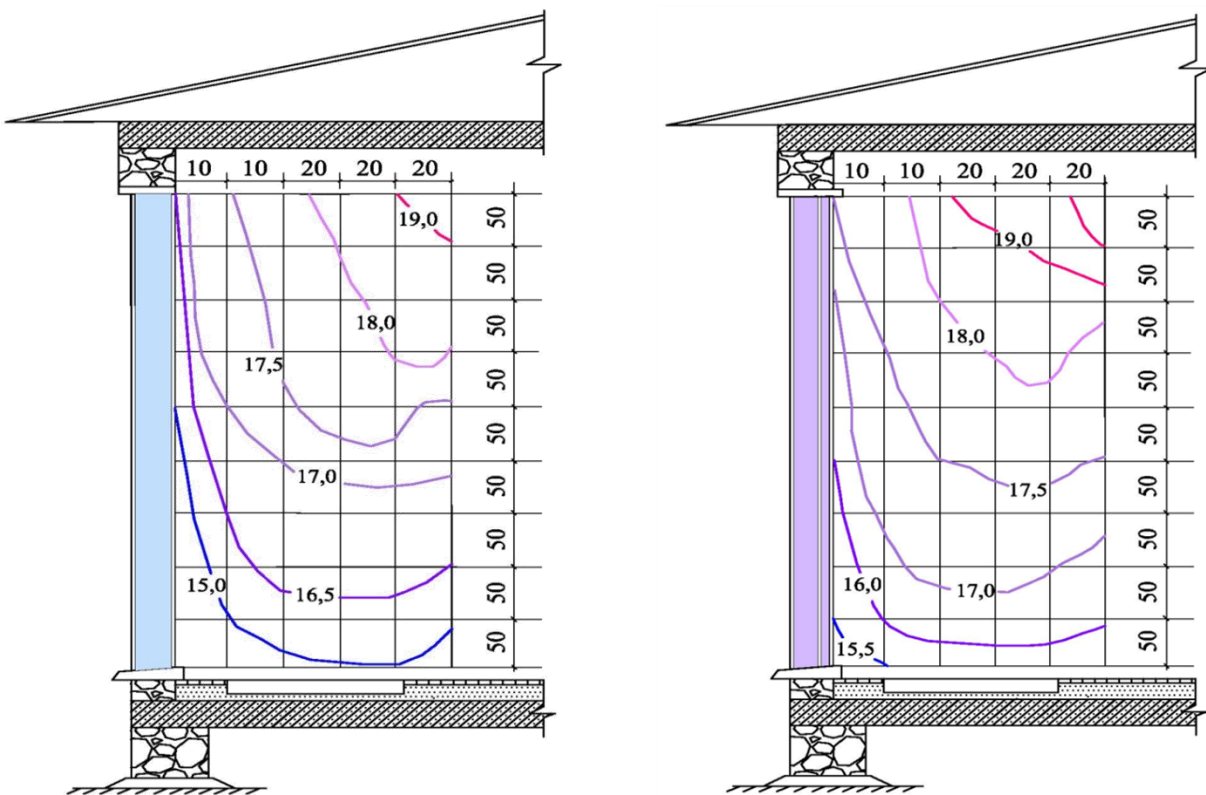


Рис. 4. Температурное поле на поверхности остекления и в зоне окна на неизотермической ниспадающей струе у внутренней поверхности светового проема в горячем цехе при  $t_{\text{в}}=17,0\text{ }^{\circ}\text{C}$  и  $t_{\text{н}}=-19,5\text{ }^{\circ}\text{C}$



**Рис. 5.** Температурное поле на поверхности панорамного остекления и в зоне на неизотермической восходящей струе от внутрипольного конвектора у внутренней поверхности светового проема при температурах  $t_{в} = 17,0\text{ }^{\circ}\text{C}$  и  $t_{н} = -19,5\text{ }^{\circ}\text{C}$



**Рис. 6.** Температурное поле на поверхности панорамного остекления и в зоне окна на неизотермической ниспадающей струе у внутренней поверхности светового проема в обеденном зале при температурах  $t_{в} = 17,0\text{ }^{\circ}\text{C}$  и  $t_{н} = -19,5\text{ }^{\circ}\text{C}$

– 2,0 °С, на высоте 350 см – 2,4 °С на высоте 400 см – 2,6 °С на высоте 450 см – 2,7 °С и на поверхности остекления около верхнего пластикового переплета 0,6 °С.

Распределение температур в зоне двойного и тройного остекления с отопительным прибором при температурах  $t_g = 17,0$  °С и  $t_n = -19,5$  °С приведено в горячем цехе на рисунке 3 (горячий цех) и на рисунке 5 (обеденный зал). В средней и верхней частях светового проема значение температуры поверхности остекления заметно повышалось. Температура на внутренней поверхности двухкамерного стеклопакета была значительно выше, чем на поверхности однокамерного стеклопакета.

Разница в температуре на внутренней поверхности однокамерного и двухкамерного стеклопакета около нижней пластиковой обвязки в горячем цехе составила 1,0 °С, на высоте 25 см – 1,5 °С, на высоте 50 см – 1,9 °С, на высоте 75 см – 2,2 °С, на высоте 100 см – 2,6 °С, на высоте 150 см – 2,9 °С и на поверхности остекления около верхнего пластикового переплета 1,1 °С и в обеденном зале нижней пластиковой обвязки составила 0,9 °С, на высоте 50 см – 0,9 °С, на высоте 100 см – 1,3 °С, на высоте 150 см – 1,7 °С, на высоте 200 см – 1,9 °С, на высоте 250 см – 2,0 °С, на высоте 300 см – 2,2 °С, на высоте 350 см – 2,4 °С на высоте 400 см – 2,7 °С на высоте 450 см – 2,9 °С и на поверхности остекления около верхнего пластикового переплета 0,8 °С.

Результаты анализов показывают, что в обеденном зале при панорамном остеклении ( $h=4,5$  м) внизу светопрозрачного остекления происходит существенное снижение температуры в нижней части витража. По всей высоте панорамного остекления сверху вниз движется охлаждающий поток воздуха, который вызывает выпадение конденсата и обмерзания внутренней поверхности остекления. При устройстве внутривитражного конвектора у витражного остекления позволит ликвидировать в верхних и нижних частях различие температурных полей на внутренней поверхности остекления.

**Выводы.** В результате экспериментальных опытов получено, что для помещения с отключенным отопительным прибором у потолка развивается неизотермическая струя (см. рисунок 4, 6), которая под действием градиента температуры, плотности и ускорения свободного падения воздуха опускается вниз. Ниспадающая турбулентная струя омывает вертикальную поверхность наружной стены, а также горизонтальную поверхность откоса окна. В верхней части охлажденной поверхности остекления формируется тонкий ламинарный слой, постепенно переходящий в турбулентный, который сливается с турбулентной неизотермической струей. При движении струи вдоль охлажденной поверхности остекления происходит потеря ее кинетической энергии. В результате, в зависимости от длины охлажденной поверхности остекления, понижается значение температуры струи.

Экспериментальный опыт показывает, что при наличии отопительного прибора воздушная струя под действием разностей температур и плотностей поднимается вверх к остекленной поверхности (см. рисунок 3, 5). Турбулентная, искривленная по оси струя, внешний слой которой частично налипает на охлажденную поверхность остекления, формирует ламинарный пограничный слой. В результате движения вверх ламинарного пограничного слоя турбулентной струи в нижней части остекления возникает застойная зона местной циркуляции, имеющая малую подвижность воздуха. Вдоль поверхности остекления развивается основная полуограниченная турбулентная струя. Теплые частицы воздуха в струе при ее движении вдоль остекления охлаждаются. Это приводит к потере движущими частицами кинетической энергии и началу торможения. При полном торможении происходит отрыв пограничного слоя от охлажденной поверхности остекления и изменение направления движения потока струи вглубь помещения [5-8].

Теплотехнические испытания проводили в обеденном зале и горячем производственном цехе при внутренних  $t_{p,n}$  и наружных  $t_n$  температурах. В процессе проведения этих серий испытаний температура  $t_n$  оставалась неизменной. Отмечено: в средней и верхней ча-

стях светового проема значение температуры поверхности остекления заметно повышалось; температура на внутренней поверхности двухкамерного стеклопакета была значительно выше, чем на поверхности однокамерного стеклопакета. Выполненные экспериментальные исследования оконных конструкций с включенным и выключенным отопительным прибором показали, что температурный режим определяется, главным образом, действием неизотермических восходящих струй.

В таблицах 1 и 2 представлены данные измерения температуры на внутренней поверхности остекления с неизотермической ниспадающей и восходящей струей в горячем цехе и обеденном зале ресторанный комплекс разных на высоте от пола.

Таблица 1

Данные экспериментального исследования температуры на внутренней поверхности остекления в горячем производственном цехе, °С

Помещения	Расстояние термодатчиков от внутренней поверхности остекления, см				
	10	20	40	60	80
<i>Неизотермическая ниспадающая струя (без отопительного прибора)</i>					
Горячий цех: – однокамерный стеклопакет на высоте от пола:					
1,25	15,0	20,0	19,5	20,5	21,0
1,50	15,5	19,0	19,5	20,5	20,0
1,75	15,5	19,0	20,0	20,0	20,0
2,00	16,0	18,5	20,0	20,5	20,5
2,25	16,0	19,0	20,5	20,0	20,5
2,50	15,5	19,5	20,0	20,5	20,5
– двухкамерный стеклопакет на высоте от пола:					
1,25	15,5	21,0	20,5	21,5	21,5
1,50	15,5	20,0	21,5	20,5	20,5
1,75	15,5	20,0	21,0	21,0	20,5
2,00	16,0	19,5	21,0	20,5	20,5
2,25	16,0	19,0	21,5	21,0	21,5
2,50	15,5	20,5	20,5	20,5	21,5
<i>Неизотермическая восходящая струя (с отопительным прибором)</i>					
Горячий цех: – однокамерный стеклопакет на высоте от пола:					
1,25	16,0	23,5	26,5	25,5	24,0
1,50	16,5	24,0	26,5	25,5	25,0
1,75	16,5	25,0	26,0	25,0	25,0
2,00	17,0	24,5	26,0	26,5	24,5
2,25	17,0	23,0	25,5	26,0	24,5
2,50	17,5	23,5	25,0	25,5	23,5
– двухкамерный стеклопакет на высоте от пола:					
1,25	16,5	24,5	27,5	26,0	26,0

Помещения	Расстояние термопар от внутренней поверхности остекления, см				
	10	20	40	60	80
1,50	16,5	24,5	27,5	26,0	25,5
1,75	17,0	25,5	26,5	25,0	25,5
2,00	17,5	25,5	26,0	25,5	25,0
2,25	17,5	24,0	26,5	26,5	24,5
2,50	17,5	24,5	25,0	26,5	24,5

Таблица 2

Данные экспериментального исследования температуры на внутренней поверхности панорамного остекления в обеденном зале, °С

Помещения	Расстояние термопар от внутренней поверхности остекления, см				
	10	20	40	60	80
<i>Неизотермическая ниспадающая струя (без отопительного прибора)</i>					
Обеденный зал: – однокамерный стеклопакет на высоте от пола:					
0,5	14,5	15,0	16,0	17,5	18,0
1,0	15,0	15,5	17,0	16,5	16,5
1,5	15,5	15,5	16,5	17,0	16,5
2,0	16,0	17,0	17,5	17,5	17,5
2,5	16,0	16,5	17,5	17,0	16,5
3,0	16,0	17,0	18,0	17,5	18,5
3,5	16,5	17,0	18,5	19,0	19,0
4,0	16,5	17,0	19,5	19,0	19,0
4,5	16,5	17,5	18,5	18,0	18,5
– двухкамерный стеклопакет на высоте от пола:					
0,5	15,5	15,5	16,5	18,0	18,5
1,0	16,0	16,5	18,0	18,5	17,5
1,5	16,0	16,0	17,5	18,0	18,0
2,0	16,5	18,0	19,0	19,5	19,5
2,5	16,5	17,5	18,5	18,5	19,0
3,0	16,5	17,0	18,5	19,0	19,5
3,5	17,0	17,5	19,0	19,5	20,0
4,0	16,5	17,0	20,5	20,5	20,0
4,5	17,0	19,5	19,5	20,5	20,5

Окончание табл. 2

Помещения	Расстояние термодатчиков от внутренней поверхности остекления, см				
	10	20	40	60	80
<i>Неизотермическая восходящая струя (с отопительным прибором)</i>					
Обеденный зал: – однокамерный стеклопакет на высоте от пола:					
0,5	15,0	20,5	27,5	26,0	24,5
1,0	15,0	21,0	26,0	25,5	24,5
1,5	15,5	23,0	24,5	24,5	24,0
2,0	16,0	23,0	24,5	24,0	24,0
2,5	16,5	24,0	25,0	25,0	25,0
3,0	16,5	23,5	24,0	24,5	24,5
3,5	17,0	24,0	24,0	23,5	24,5
4,0	17,0	24,5	25,0	24,5	23,5
4,5	17,5	24,5	25,0	25,0	25,5
– двухкамерный стеклопакет на высоте от пола:					
0,5	15,5	22,0	28,0	27,5	25,5
1,0	15,5	22,5	27,5	26,0	25,5
1,5	15,5	23,5	26,0	25,5	24,5
2,0	16,5	23,5	25,0	25,5	25,0
2,5	17,0	24,5	25,5	25,0	24,5
3,0	17,0	24,0	25,5	25,0	24,5
3,5	17,5	25,5	25,5	25,0	24,5
4,0	17,5	25,5	26,0	25,5	25,0
4,5	17,5	25,0	25,5	26,0	26,5

## Библиографический список

1. **Савин, В.К.** Строительная физика. Энергоперенос. Энергоэффективность. Энергосбережение / Савин В.К. – М.: Лазурь. – 2005. – 432 с.
2. **Захаревич, А. Э.** Влияние светопрозрачных конструкций на распределение параметров микроклимата в помещениях жилых и общественных зданий / А. Э. Захаревич // Светопрозрачные конструкций. – 2008. – № 5–6. – С. 46–53.
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. **Сотникова, О. А.** Моделирование распределения трехмерных стационарных воздушных потоков в помещении / О.А. Сотникова, И.С. Кузнецов, Л.Ю. Гусева // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2007. – Т.3. – № 6. – С. 121–123.
5. **Тульская, С. Г.** Экспериментальные исследования теплового режима производственных помещений и обеденных залов ресторанных комплексов / С.Г. Тульская, О.А. Сотникова, Ю.Г. Булыгина // Инженерные системы и сооружения. – 2012. – № 2 (8) – С. 62–70
6. **Тульская, С. Г.** Влияние характеристик спецодежды на создание теплового комфорта в производственных помещениях ресторанных комплексов / С.Г. Тульская, Ю.Г. Булыгина // Научный журнал «Молодой ученый». – 2012. – №11 (46) – С.102–104.
7. **Сотникова, К. Н.** Автоматизация процессов управления тепловыми потоками в помещениях / К.Н. Сотникова, А.В. Муратов // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2008. – Т.4. – № 12. – С.48–50.

8. **Плаксина, Е. В.** Характерные особенности систем обеспечения параметров микроклимата в спортивно-оздоровительных помещениях / Е. В. Плаксина // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. - 2014. - Т. 2. - № 4 (17). - С. 43-48.

#### References

1. **Savin, V.K.** Stroitel'naja fizika. Jenergoperenos. Jenergojeffektivnost'. Jenergoberezhenie / Savin V.K. – М.: Lazur'. – 2005. – 432 s.

2. **Zaharevich, A. Je.** Vlijanie svetoprozrachnyh konstrukcij na raspredelenie parametrov mikroklimate v pomeshhenijah zhilyh i obshhestvennyh zdaniy /A. Je. Zaharevich // Svetoprozrachnye konstrukcij. – 2008. – № 5–6. – S. 46-53.

3. **Mel'ukmov, V. N.** Matematicheskoe modelirovanie vozdušnyh potokov v pomeshhenijah bol'shih ob#e-mov / V. N. Mel'ukmov, A. V. Loboda, S. V.Chujkin // Nauchnyj vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo arhi-tekturno-stroitel'nogo universiteta. Stroitel'stvo i arhitektura. - 2014. - № 2 (34). - S. 11-18.

4. **Sotnikova, O. A.** Modelirovanie raspredelenija trehmernyh stacionarnyh vozdušnyh potokov v pomeshhenii / O.A. Sotnikova, I.S. Kuznecov, L.Ju. Guseva // Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo tehniche-skogo universiteta. – 2007. – Т.3. – № 6. – S. 121-123.

5. **Tul'skaja, S. G.** Jeksperimental'nye issledovanija teplovogo rezhima proizvodstvennyh pomeshhenij i obedennyh zalov restorannyh kompleksov / S.G. Tul'skaja, O.A. Sotnikova, Ju.G. Bulygina // Inzhenernye si-stemy i sooruzhenija. – 2012. – № 2 (8) – S. 62-70

6. **Tul'skaja, S. G.** Vlijanie harakteristik specodezhdy na sozdanie teplovogo komforta v proizvod-stvennyh pomeshhenijah restorannyh kompleksov / S.G. Tul'skaja, Ju.G. Bulygina // Nauchnyj zhurnal «Molodoj uchenyj». – 2012. – №11 (46) – S.102–104.

7. **Sotnikova, K. N.** Avtomatizacija processov upravlenija teplovymi potokami v pomeshhenijah / K.N. Sotnikova, A.V. Muratov // Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo tehniceskogo universiteta. – 2008. – Т.4. – № 12. – S.48-50.

8. **Плаксина, Е. В.** Harakternye osobennosti sistem obespechenija parametrov mikroklimate v sportiv-no-ozdorovitel'nyh pomeshhenijah / E. V. Plaksina // Nauchnyj zhurnal. Inzhenernye sistemy i sooruzhenija. - 2014. - Т. 2. - № 4 (17). - S. 43-48.

## EXPERIMENTAL STUDY OF HEAT PROPERTIES OF TRANSLUCENT STRUCTURES

O. A. Sotnikova, S. G. Tulsckaya

---

*Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering*

*O. A. Sotnikova, D. Sc. in Engineering, Prof., Head of Dept. of design of buildings and structures them. N. V. Trinity Russia, Voronezh, tel.: +7(473)277-43-39 e-mail: pz@vgasu.vrn.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: tcdtnkyf2014@yandex.ru*

---

**Statement of the problem.** This article describes experimental investigation of the temperature field on the inner surfaces of the glazing in the restaurant complex. Thermal tests were carried out in the dining room and in the hot shop of the restaurant. Experimental tests were carried out with two types of window units: double glazed, single chamber glazing in plastic frames and triple glazing (triple glazing in plastic frames).

**Results.** According to the results of experimental studies the diagrams of the fields tempera-Tur on the inside of the Windows with double and triple glazing in the hot shop and dinners-Mr. hall and restaurant complex.

**Conclusions.** Based on experimental data of heat transfer between non-isothermal jet and a light opening with single-chamber and triple-pane Windows and the heating device or without the obtained average temperature of the internal surfaces of the premises of the hot shop and dining room.

**Keywords:** temperature field, building envelope, single-chamber glass, double-glass, heating appliance, restaurant complex

## СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

УДК 691.6

### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРИНЦИПОВ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ОПТИКИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СВОЙСТВ СЛОИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ

Б. М. Кумицкий, Н. А. Саврасова, Е. В. Плаксина

*Воронежский государственный архитектурно-строительный 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**Воронежский государственный архитектурно-строительный университет**Е. В. Плаксина, аспирант кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела**Россия, г. Воронеж, тел.: +7 (473)271-53-21, e-mail: plaksina@vgasu.vrn.ru*

**Постановка задачи.** Предлагается использовать принципы геометрической оптики, как основу метода неразрушающего контроля качества слоистых прозрачных материалов. Кроме того, показано применение геометрической оптики для решения задач вариационного исчисления.

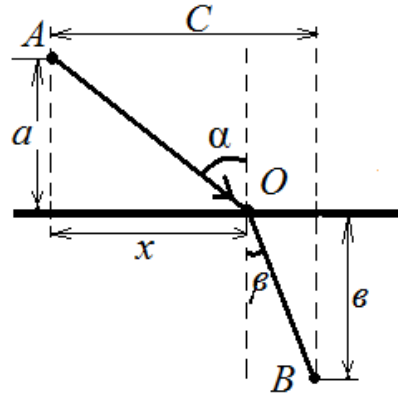
**Результаты и выводы.** Принципы геометрической оптики могут служить не только как один из способов решения задач вариационного исчисления, но и использоваться как метод неразрушающего контроля качества прозрачных слоистых материалов.

**Ключевые слова:** геометрическая оптика, слоистые материалы, брахистохрона, циклоида, неразрушающий контроль.

**Введение.** В современных строительных технологиях все большее применение находят прозрачные слоистые материалы (стенные конструкции, оконные блоки и др.) [1-9]. Естественно возникает проблема качества указанной продукции. Одним из эффективных методов неразрушающего контроля качества слоистых сред является применение принципов геометрической оптики. Действительно, используем зависимость скорости распространения света от физических свойств среды, предположим, что луч света из точки А однородной среды 1 в точку О переходит в среду 2, которая является оптически более плотной по сравнению с 1, и достигает точки В со скоростью  $v_2 < v_1$  (рис. 1).

Полное время  $\tau$ , необходимое для прохождения луча от А до В определяется очевидным равенством

$$\tau = \frac{\sqrt{a^2 + x^2}}{v_1} + \frac{\sqrt{(x-c)^2 + b^2}}{v_2}. \quad (1)$$



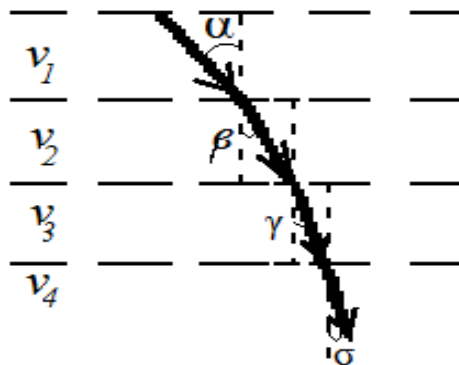
**Рис. 1.** Схема распространения луча света в двух средах различной оптической плотности

В соответствии с принципом Ферма наименьшего времени [3] время распространения луча света по указанной траектории будет минимальным. Условием минимума выражения (1) является равенство нулю производной  $\frac{d\tau}{dx} = 0$ . Или, дифференцируя (1) и приравнявая нулю, получим

$$\frac{x}{v_1 \sqrt{a^2 + x^2}} - \frac{c-x}{v_2 \sqrt{b^2 + (c-x)^2}} = 0. \quad (2)$$

Равенство (2) выражает закон Снеллиуса, который известен в физике как закон преломления света. Используем этот закон для нахождения траектории луча света, который проходит сквозь среду с постоянно увеличивающейся оптической плотностью. Подобная ситуация приближенно наблюдается в случае падающего на землю луча солнца, когда он замедляет скорость при прохождении через атмосферу с возрастающей плотностью.

В качестве примера рассмотрим мелкодисперсную среду, которую пронизывает луч света (рис. 2).



**Рис. 2.** Распространение света в слоистой среде с постоянно увеличивающейся оптической плотностью

Видно, что падающий луч при переходе от слоя к слою преломляется все больше по направлению к вертикали. Применив закон преломления к границам между средами, получим

$$\frac{\sin \alpha}{v_1} = \frac{\sin \beta}{v_2} = \frac{\sin \gamma}{v_3} = \frac{\sin \sigma}{v_4}. \quad (3)$$

Допустим далее, что толщина слоев неограниченно уменьшается, а число слоев неограниченно растет. Тогда в пределе скорость света убывает непрерывно и мы заключаем (рис. 3), что

$$\frac{\sin \alpha}{v} = \text{const}. \quad (4)$$

Упомянутый принцип Ферма дает не только рациональную основу для вывода закона Снеллиуса, но и позволяет решить ряд задач вариационного исчисления, в частности, задачу о брахистохроне, в которой необходимо найти траекторию среди всех возможных кривых, по которым может скатиться частица из положения А в положение В под действием силы тяжести за кратчайшее время [4].

Для этой цели введем систему координат в вертикальной плоскости так, как показано на рис. 4 и представим себе, что материальная точка (подобно лучу света) способна выбрать себе траекторию из точек А в В с минимальным временем спуска.

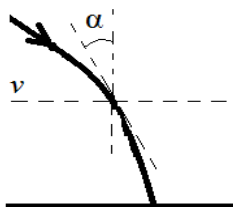


Рис. 3. Распространение света в среде с непрерывно увеличивающейся оптической плотностью

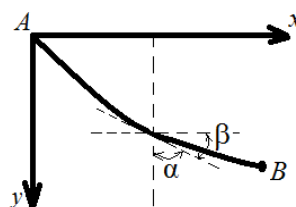


Рис. 4. Траектория движения материальной точки с минимальным временем спуска

Исходя из закона сохранения механической энергии, скорость частицы на заданном уровне не зависит от формы траектории движения, а определяется соотношением кинетической и потенциальной энергий. Это означает, что

$$v = \sqrt{2gy}, \quad (5)$$

где  $g$  – ускорение свободного падения. Далее, используя условие (4) и геометрические построения рис. 4, получим

$$\sin \alpha = \cos \beta = \frac{1}{\sec \beta} = \frac{1}{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \beta}} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2}},$$

или

$$y \left[ 1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2 \right] = C = \text{const}. \quad (6)$$

Уравнение (6) является дифференциальным уравнением брахистохроны, которое является также и уравнением циклоиды [5, 6]. Покажем это. Для этого разделим переменные в уравнении (6).

$$dx = \left( \frac{y}{C-y} \right)^{\frac{1}{2}} dy. \quad (7)$$

Введем теперь новую переменную  $\omega$ , полагая

$$\left( \frac{y}{C-y} \right)^{\frac{1}{2}} = \operatorname{tg} \omega. \quad (8)$$

Тогда, комбинируя (7) и (8), получим

$$y = C \sin 2\omega,$$

$$dy = 2C \sin \omega \cos \omega d\omega,$$

$$dx = \operatorname{tg} \omega dy = 2C \sin^2 \omega d\omega = C(1 - 2\cos 2\omega)d\omega.$$

Интегрирование последнего соотношения приводит к уравнению

$$x = \frac{C}{2}(2\omega - \sin 2\omega) + C_1. \quad (9)$$

Используя начальные условия  $y = x = 0$  при  $\omega = 0$ , определим, что постоянная  $C_1 = 0$ . Итак, для  $x$  и  $y$ , с учетом начальных условий, получим окончательно

$$x = \frac{C}{2}(2\omega - \sin 2\omega). \quad (10)$$

$$y = C \sin^2 \omega = \frac{C}{2}(1 - \cos 2\omega).$$

Полагая здесь  $\frac{C}{2} = r$ ,  $2\omega = \theta$ , приходим к стандартным параметрическим уравнениям циклоиды [5, 10, 11].

**Вывод.** Таким образом, можно заключить, что принципы геометрической оптики могут служить не только как один из способов решения задач вариационного исчисления, но и использоваться как метод неразрушающего контроля качества прозрачных слоистых материалов [12-17].

#### Библиографический список

1. Клиндт, Л. Стекло в строительстве. Свойства, применение, расчеты / Клейн В. Пер. с нем.: Глазунов П. И., Гусева Т. Ф., Липкинд З. А. // Стройиздат. Москва. - 1981. - 287 с.

2. **Соловьев, С. П.** Стекло в архитектуре / С. П. Соловьева, Ю. М. Динаева // Стройиздат. Москва. - 1981. - 191 с.
3. **Смирнов, В. И.** Курс высшей математики. Москва. Наука - Т.2. - 1967.- 655 с.
4. **Бернулли, И.** Избранные сочинения по механике. Москва. Главная редакция технико-теоретической литературы. 1937. 298 с.
5. **Амелькин, В. В.** Дифференциальные уравнения в приложениях. Москва. Наука. - 1987. - 160 с.
6. **Кумицкий, Б. М.** Модель математического маятника как метод исследования точности часов / Б. М. Кумицкий, Н. М. Киреев, Н. А. Саврасова // Сборник научных трудов по материалам международной научно-практической конференции «Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика» - 2015. - Т. 3. - № 5 (1). - С. 128-132.
7. **Чуйкин, С. В.** Разработка программы расчета ожидаемых нагрузок ветра на провода воздушных линий электропередачи / С. В. Чуйкин, Т. В. Дорофеева, Е. О. Кшевинская // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. – 2015. – №1 (18). – С. 23-28.
8. **Плаксина Е. В.** Характерные особенности организации систем отопления и вентиляции в общественных помещениях / Е. В. Плаксина, Е. О. Кшевинская, Е. А. Лавлинская // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. – 2016. – №3 (20). – С. 77-83.
9. **Melkumov, V. N.** Organization of air distribution of covered multipurpose ice rinks / V.N. Melkumov, S.V. Chuykin // Scientific Herald of the Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering. Construction and Architecture. -2013. - №3. -pp. 17-28.
10. **Чуйкин, С. В.** Применение конформных отображений при решении задач вытесняющей вентиляции / С. В. Чуйкин, Р. А. Люльков // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. – 2013. – №1(10). – С. 29–36.
11. **Тульская, С. Г.** Экспериментальные исследования теплового режима производственных помещений и обеденных залов ресторанных комплексов / С. Г. Тульская, О. А. Сотникова, Ю. Г. Булыгина // Инженерные системы и сооружения. – 2012. – № 3 (8) – С. 62–70.
12. **Плаксина Е. В.** Характерные особенности систем напольного отопления / Е. В. Плаксина, О. Е. Голясикова, А. А. Грязных, О. А. Рябцев // Инженерные системы и сооружения. -2013.-№ 2 (11).- С.41-52.
13. **Плаксина Е. В.** Характерные особенности требуемых параметров микроклимата помещений физкультурно-оздоровительных комплексов / Е. В. Плаксина, Я. А. Арнольбик, О. Ю. Струкова, Е. Э Дубровская // Инженерные системы и сооружения. – 2014. – № 1 (11). – С.70–78.
14. **Сотникова, О. А.** Моделирование распределения трехмерных стационарных воздушных потоков в помещении / О. А. Сотникова, И. С. Кузнецов, Л. Ю. Гусева // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2007. – Т. 3. – № 6. – С. 121–123.
15. **Мелькумов, В. Н.** Промышленная безопасность помещений с электрооборудованием / В.Н. Мелькумов // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. - 2008. - № 3. - С. 176-182.
16. **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.
17. **Петрикеева, Н. А.** Экономически целесообразный уровень теплозащиты зданий при работе систем теплогазоснабжения и вентиляции / Н. А. Петрикеева, О. В. Тюленева, Н. Н. Кучеров // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. – Воронеж: ВГАСУ, 2012. – № 1. – С. 9–12.

## References

1. **Klindt, L.** Steklo v stroitel'stve. Svoystva, primenenie, raschety / Klejn V. Per. s nem.: Glazunov P. I., Guseva T. F., Lipkind Z. A. // Strojizdat. Moskva. - 1981. - 287 s.
2. **Solov'ev, S. P.** Steklo v arhitekture / S. P. Solov'eva, Ju. M. Dinaeva // Strojizdat. Moskva. - 1981. - 191 s.
3. **Smirnov, V. I.** Kurs vysshej matematiki. Moskva. Nauka - T.2. - 1967.- 655 s.
4. **Bernulli, I.** Izbrannye sochinenija po mehanike. Moskva. Glavnaja redakcija tehniko-teoreticheskoj literatury. 1937. 298 s.
5. **Amel'kin, V. V.** Differencial'nye uravnenija v prilozhenijah. Moskva. Nauka. - 1987. - 160 s.
6. **Kumickij, B. M.** Model' matematicheskogo majatnika kak metod issledovanija tochnosti chasov / B. M. Kumickij, N. M. Kireev, N. A. Savrasova // Sbornik nauchnyh trudov po materialam mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii «Aktual'nye napravlenija nauchnyh issledovanij XXI veka: teorija i praktika» -2015. - Т. 3. - № 5 (1). - С. 128-132.
7. **Chujkin, S. V.** Razrabotka programmy rascheta ozhidaemyh nagruzok vetra na provoda vozdushnyh li-nij jelektroperedachi / S. V. Chujkin, T. V. Dorofeeva, E. O. Kshevinskaja // Nauchnyj zhurnal. Inzhenernye si-stemy i sooruzhenija. – 2015. – №1 (18). – С. 23-28.

8. **Plaksina E. V.** Harakternye osobennosti organizacii sistem otopenija i ventiljacii v obshhestvennyh pomeshhenijah / E. V. Plaksina, E. O. Kshevinskaja, E. A. Lavlinskaja // Nauchnyj zhurnal. Inzhenernye sistemy i sooruzhenija. – 2016. – №3 (20). – S. 77-83.
9. **Melkumov, V. N.** Organization of air distribution of covered multipurpose ice rinks / V.N. Melkumov, S.V. Chuykin // Scientific Herald of the Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering. Construction and Architecture. -2013. - №3. -pp. 17-28.
10. **Chujkin, S. V.** Primenenie konformnyh otobrazhenij pri reshenii zadach vytesnjajushhej ventiljacii / S. V. Chujkin, R. A. Ljul'kov // Nauchnyj zhurnal. Inzhenernye sistemy i sooruzhenija. – 2013. – №1(10). – S. 29–36.
11. **Tul'skaja, S. G.** Jeksperimental'nye issledovanija teplovogo rezhima proizvodstvennyh pomeshhenij i obedennyh zalov restorannyh kompleksov / S. G. Tul'skaja, O. A. Sotnikova, Ju. G. Bulygina // Inzhenernye sistemy i sooruzhenija. – 2012. – № 3 (8) – S. 62–70.
12. **Plaksina E. V.** Harakternye osobennosti sistem napol'nogo otopenija / E. V. Plaksina, O. E. Golja-sikova, A. A. Grjaznyh, O. A. Rjabcev // Inzhenernye sistemy i sooruzhenija. -2013.-№ 2 (11).- S.41-52.
13. **Plaksina E. V.** Harakternye osobennosti trebuemyh parametrov mikroklimata pomeshhenij fiz-kul'turno-ozdorovitel'nyh kompleksov / E. V. Plaksina, Ja. A. Arnol'bik, O. Ju. Strukova, E. Je Dubrovskaja // Inzhenernye sistemy i sooruzhenija. – 2014. – № 1 (11). – S.70–78.
14. **Sotnikova, O. A.** Modelirovanie raspredelenija trehmernyh stacionarnyh voz-dushnyh potokov v pomeshhenij / O. A. Sotnikova, I. S. Kuznecov, L. Ju. Guseva // Vestnik Vo-ronezhskogo gosudarstvennogo tehni-cheskogo universiteta. – 2007. – T. 3. – № 6. – S. 121–123.
15. **Mel'kumov, V. N.** Promyshlennaja bezopasnost' pomeshhenij s jelektrooborudovaniem / V.N. Mel'ku-mov // Nauchnyj vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Stroitel'stvo i arhitektura. - 2008. - № 3. - S. 176-182.
16. **Chudinov, D. M.** Vlijanie parametrov oborudovanija geliustanovok na jeffektivnost' al'ternativ-nogo teplosnabzhenija zdanij / D. M. Chudinov, T. V. Shhukina, O. A. Sotnikova // Promyshlennaja jenergetika. - 2008. – № 9. – S. 44–46.
17. **Petrikeeva, N. A.** Jekonomicheski celesoobraznyj uroven' teplozashhity zdanij pri rabote sistem teplogaz-osnabzhenija i ventiljacii / N. A. Petrikeeva, O. V. Tjuleneva, N. N. Kucherov // Nauchnyj zhurnal. In-zhenernye sistemy i sooruzhenija. – Voronezh: VGASU, 2012. – № 1. – S. 9–12.

## USE OF THE PRINCIPLES OF GEOMETRICAL OPTICS FOR RESEARCH OF PROPERTIES OF LAYERED MATERIALS

B. M. Kumitsky, N. A. Savrasova, E. V. Plaksina

---

*Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering*

*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*

*E. V. Plaksina, graduate student, of Dept. of Heat and Gas Supply and oil and gas business*

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

---

**Statement of the problem.** It is offered to use the principles of geometrical optics as a basis of a method of nondestructive quality control of layered transparent materials. Besides, application of geometrical optics for the solution of tasks of calculus of variations is shown.

**Results and Conclusions.** The principles of geometrical optics can serve not only as one of methods of the solution of tasks of calculus of variations, but also to be used as a method of nondestructive quality control of transparent layered materials.

**Keywords:** geometrical optics, layered materials, brakhistokhrona, cycloid, nondestructive control.

УДК 693.6; 658.387

## РАЗРАБОТКА РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО ПРОЦЕССУ НАНЕСЕНИЯ ШТУКАТУРНОГО РАСТВОРА МЕХАНИЗИРОВАННЫМ СПОСОБОМ НА ОБРАБАТЫВАЕМУЮ ПОВЕРХНОСТЬ

Е. Э. Бурак, С. П. Егорова, Ю. А. Воробьева, А. С. Григорова

*Воронежский государственный архитектурно-строительный университет*

*Е. Э. Бурак, канд. техн. наук доцент кафедры жилищно-коммунального хозяйства*

*Россия, г. Воронеж, тел.: +7 473)271-28-92, e-mail: burack.e@mail.ru*

*С. П. Егорова, канд. техн. наук доцент кафедры жилищно-коммунального хозяйства*

*Россия, г. Воронеж, тел.: +7(473)271-28-92, e-mail: vgasu.gkh@gmail.com*

*Ю. А. Воробьева, канд. техн. наук доцент кафедры жилищно-коммунального хозяйства*

*Россия, г. Воронеж, тел.: +7(473)271-28-92, e-mail: vgasu.gkh@gmail.com*

*А. С. Григорова, студент кафедры жилищно-коммунального хозяйства*

*Россия, г. Воронеж, тел.: +7(473)271-28-92, e-mail: vgasu.gkh@gmail.com*

**Постановка задачи.** Одними из наиболее трудоемких работ по отделке помещений различных назначений являются штукатурные работы. На их производство приходится около 15 % от общих трудовых затрат. В связи с этим изучение процесса нанесения штукатурного раствора и его опадемости является актуальным.

**Результаты и выводы.** В работе приводятся результаты экспериментальных исследований по процессу нанесения штукатурного раствора, включающих взаимосвязь технологических параметров, технических систем и применяемых материалов. В результате обработки полученных данных построена номограмма для определения рациональных параметров процесса нанесения штукатурного раствора при минимальной его опадемости.

**Ключевые слова:** технологические параметры, штукатурный раствор, опадемость.

**Введение.** В настоящее время в строительстве около 48 % рабочих занято на отделочных работах, из них 1/4 часть - на штукатурных работах. Они являются наиболее трудоёмкими. На их производство приходится около 15 % от общих трудовых затрат и до 10 % от сметной стоимости общестроительных работ. Наряду с большими трудовыми затратами велики потери раствора, наносимого механизированным способом, которые достигают 40-48 %. Одной из причин такого положения является недостаточная изученность процесса нанесения растворов на поверхность механизированным способом [1, 3, 4].

В связи с этим изучение процесса нанесения штукатурного раствора и его опадемости является актуальным.

**1. Описание эксперимента.** В лабораторных условиях Воронежской ГАСУ была оборудована экспериментальная установка с использованием типового оборудования для исследования процесса нанесения штукатурного раствора на обрабатываемую поверхность. Эксперимент проводился в закрытом помещении, где были созданы условия, приближенные к производственным.

Производительность установки при нанесении раствора определялась расчётным путём, м<sup>3</sup>/ч, по формуле [2]:

$$Q = 3,6 \cdot V / t, \quad (1)$$

где  $V$  - объём мерного сосуда, л;  $t$  - время заполнения сосуда, мин.

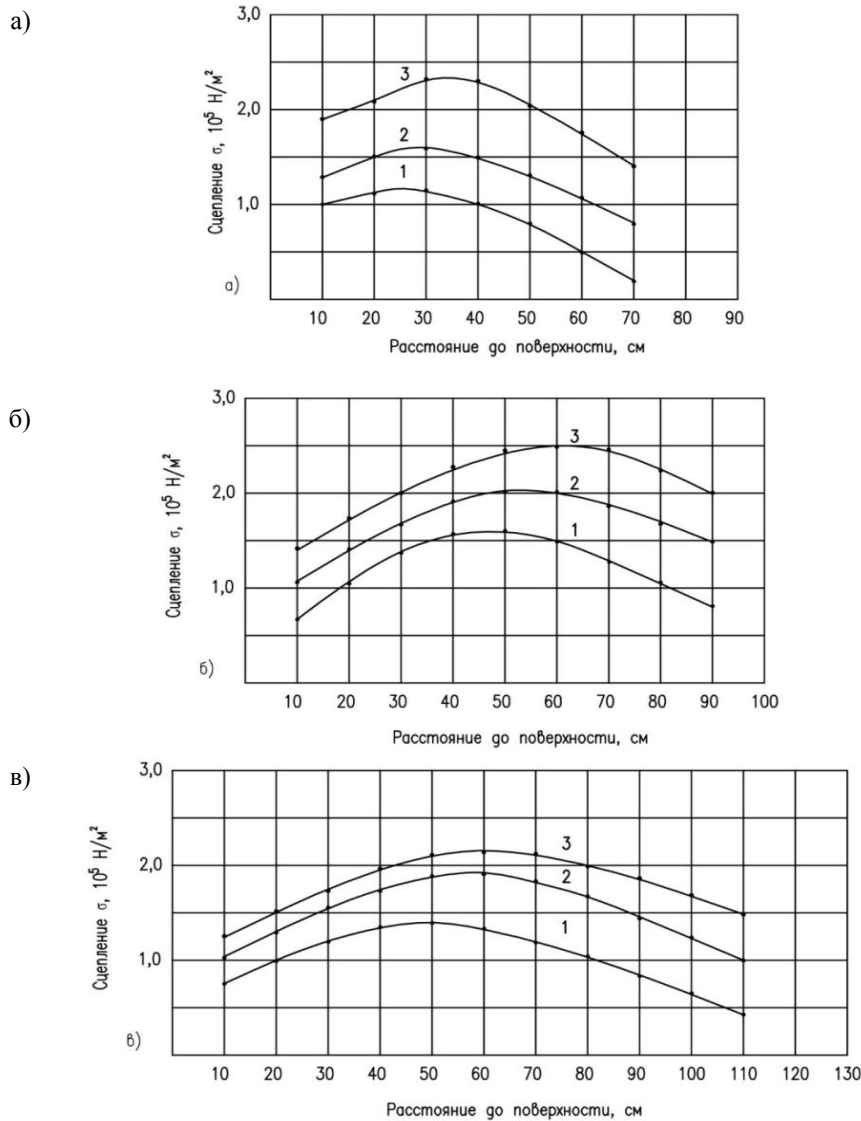
Опадаемость раствора зависела от эффективности прилипания раствора к поверхности. Её величина определялась из выражения:

$$П = 100 \cdot Q_{оп} / (Q_{ост} + Q_{он}), \quad (2)$$

где  $П$  - опадаемость раствора при нанесении на поверхность, %;  $Q_{оп}$  - масса опавшего раствора, г;  $Q_{ост}$  - масса прилипшего раствора, г.

При определении опадаемости раствор наносился на поверхность участка при различных скоростях передвижения и углах установки форсунки. Расстояние до поверхности изменялось в диапазоне от 10 до 160 см.

Эксперименты были выполнены для форсунок механического и пневматического действия. По отношению к обрабатываемой поверхности они располагались под углом  $90-30^\circ$ , что соответствовало углу установки форсунки  $\delta_1=0-60^\circ$ . Раствор наносился слоем на участок поверхности длиной 50 см.



**Рис. 1.** Зависимость силы сцепления раствора, нанесенного форсункой механического действия на кирпичную поверхность, от расстояния. Производительность растворонасоса: а) 2; б) 4; в)  $6 \text{ м}^3/\text{ч}$ . Подвижность раствора: 1-10; 2-12; 3-14 см

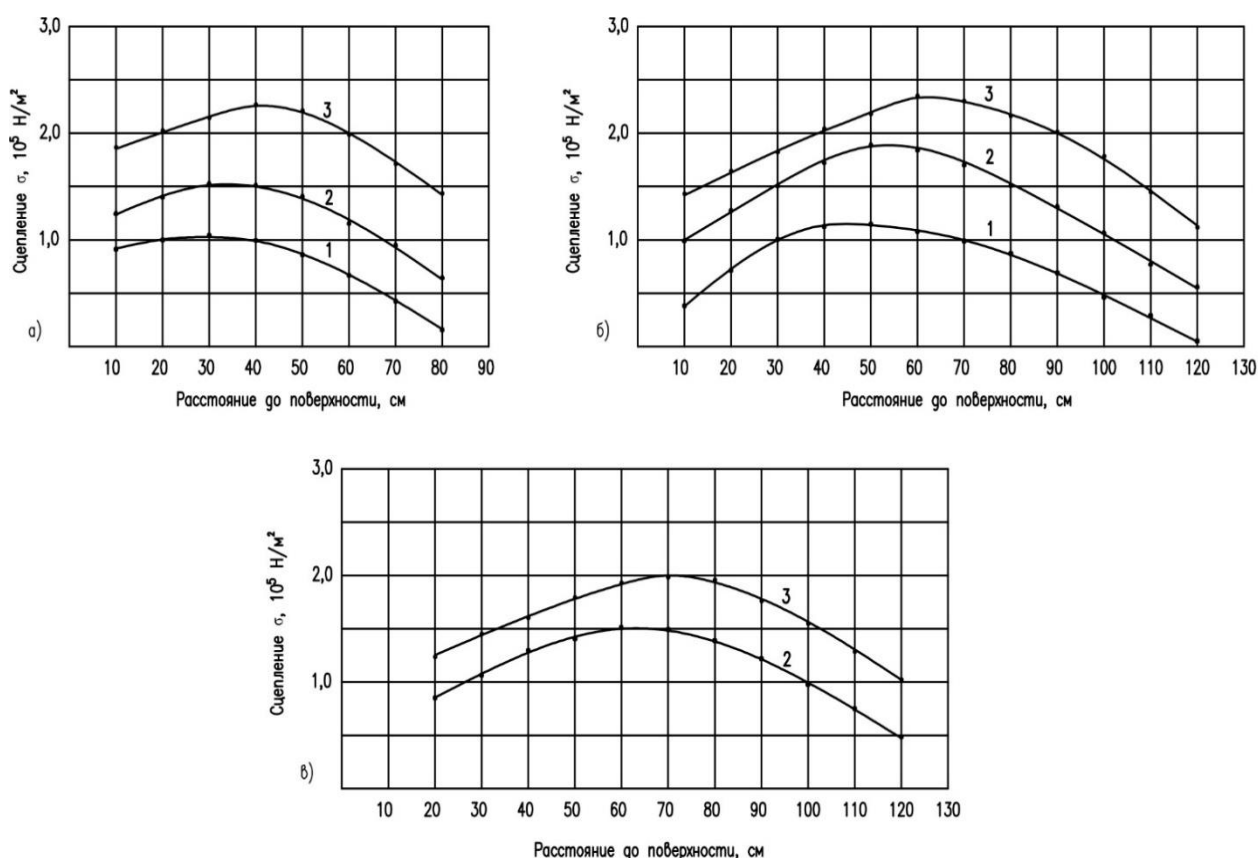
На рисунке 1 представлена зависимость сил сцепления слоя штукатурного раствора, нанесенного горизонтально ( $\varphi_1 = 0^\circ$ ) форсункой механического действия, от дальности его нанесения на кирпич. Из графика видно, что при производительности растворонасоса  $Q_H = 2 \text{ м}^3/\text{ч}$  наибольшая сила сцепления  $\delta$  для раствора подвижностью 10 см отмечается на расстоянии между форсункой и обрабатываемой поверхностью 26 см ( $1,20 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$ ), подвижностью 12 см - на расстоянии 28 см ( $1,60 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$ ), 14 см - на расстоянии 35 см ( $2,20 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$ ).

Это означает, что с увеличением подвижности раствора сила сцепления возрастает (при одном и том же расстоянии) за счет более свободного проникновения воды в поры кирпича.

Характер зависимости силы сцепления сохраняется и для других параметров производительности растворонасосов.

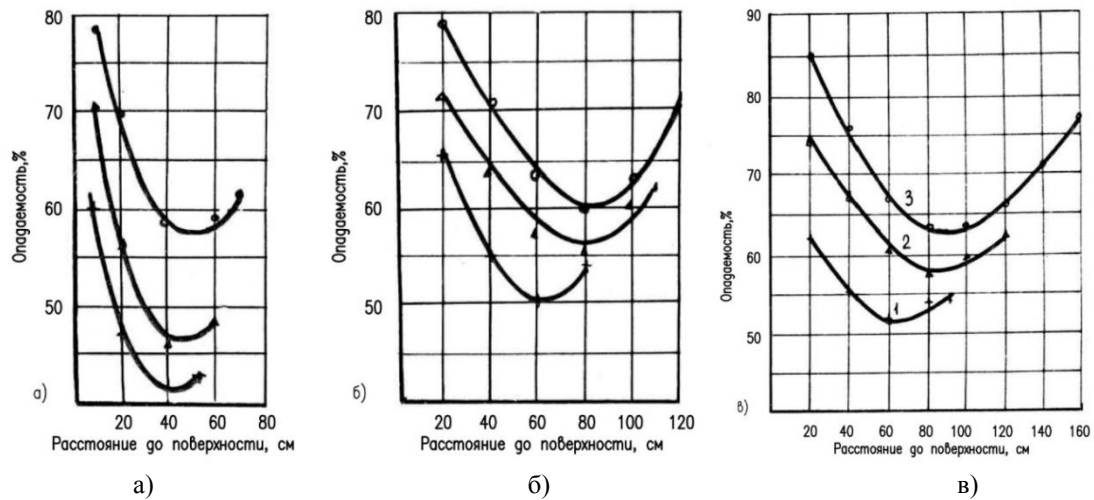
Поэтому, на рисунке 1 кривые 2, 3 расположены выше кривой 1. Характер кривых – параболический, он имеет три характерные фазы - нарастания, наибольшего значения и спада.

В результате эксперимента установлено, что наибольшим значениям силы сцепления для форсунок различного действия соответствует производительность растворонасоса  $Q_H = 4 \text{ м}^3/\text{ч}$ ; определены рациональные диапазоны расстояний до поверхности. Для форсунок механического действия они составляют: при подвижности раствора 10 см - 50÷55 см, при 12 см - 60÷65 см, при 14 см - 70÷72 см (рисунок 1). Для форсунок пневматического действия: при подвижности раствора 10 см - 55÷90 см, при 12 см - 60÷100 см, при 14 см - 70÷106 см, (рисунок 2).



**Рис. 2.** Величина сцепления для форсунок механического действия изменяется в пределах от  $1,2$  до  $2,1 \times 10^5 \text{ Н/м}^2$  и от  $1,0$  до  $1,9 \times 10^5 \text{ Н/м}^2$  для форсунок пневматического действия

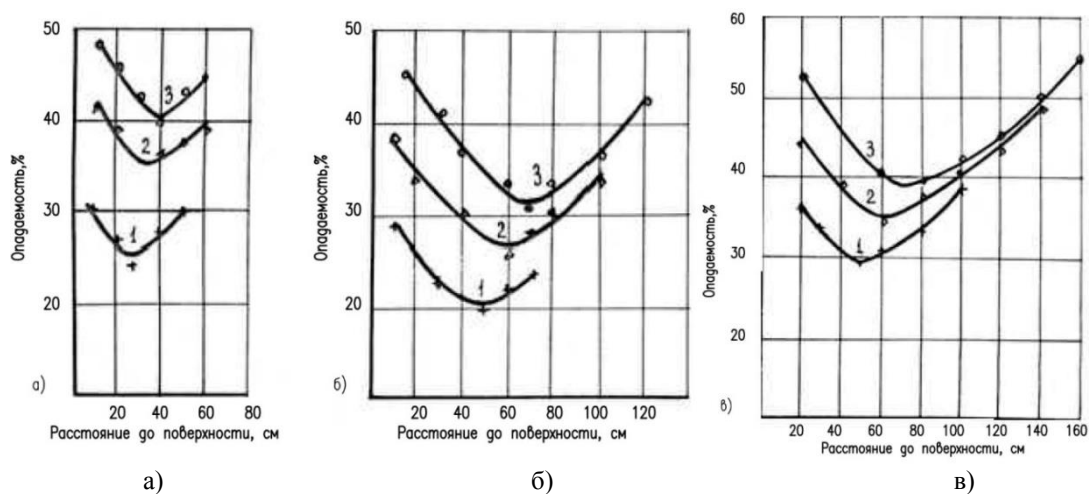
Исследования показали, что при работе форсунками пневматического действия под углом  $\varphi_1 = 0-60^\circ$ , опадаемость раствора на 32-40 % ниже, чем при работе форсунками механического действия (рисунок 3).



**Рис. 3.** Зависимость потерь раствора от расстояния между форсункой механического действия и обрабатываемой кирпичной поверхностью ( $\varphi = 0-30^\circ$ ). Производительность растворонасоса: а) 2; б) 4; в) 6 м<sup>3</sup>/ч. Подвижность раствора: 1-10; 2-12; 3-14 см

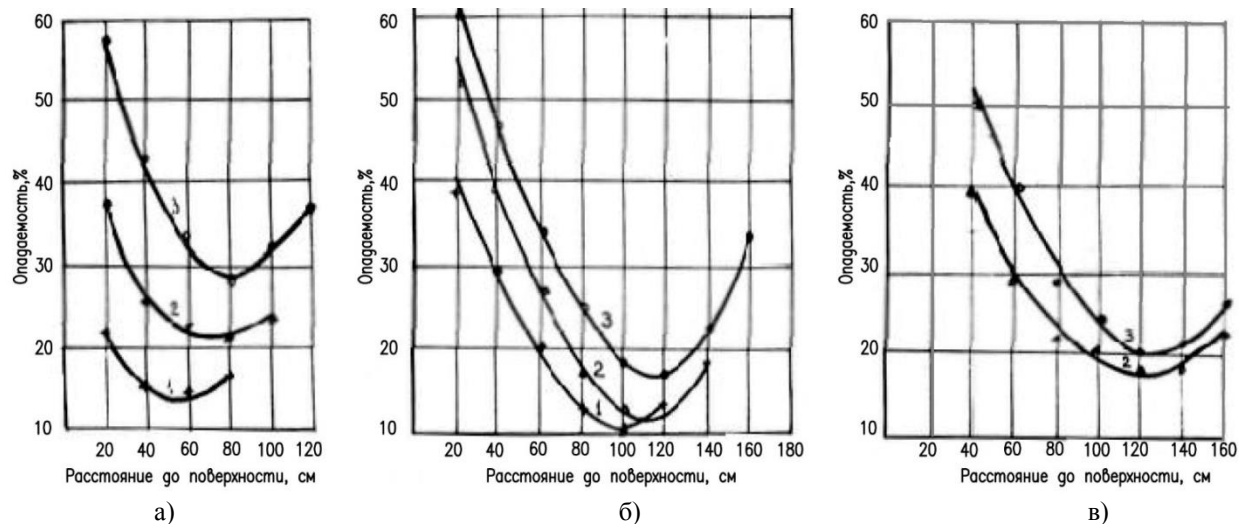
Выявлены зависимости потерь раствора от изменения расстояния до обрабатываемой поверхности при различных углах установки форсунок и производительности растворонасоса. Они так же имеют форму параболы, на которой прослеживается участки минимальной и максимальной опадаемости (рисунки 3, 4, 5, 6).

Характер кривых свидетельствует о том, что при небольших расстояниях большая сила удара факела о поверхность частично сбивает ранее нанесенный слой, нарушает равномерность его распределения – создаются условия опадаемости. С увеличением расстояния до определенного предела наблюдается хорошее прилипание раствора и минимальная опадаемость. Дальнейшее увеличение расстояния до поверхности вновь повышает опадаемость раствора в результате недостаточной силы удара факела или неполного охвата поверхности факелом и в связи с переходом в сбивающий угол. Увеличение подвижности раствора приводит к возрастанию его опадаемости от 42 % ( $S_n = 10$  см) до 58 % ( $S_n = 14$  см). С увеличением производительности растворонасосов от 2 до 6 м<sup>3</sup>/ч (форсунка механического действия) возрастала и опадаемость раствора: при  $S_n = 10$  см от 42 до 52 %, при  $S_n = 12$  см от 47 до 58 %, при  $S_n = 14$  см от 57 до 63 % (рисунок 3). При нанесении раствора пневматическим способом (рисунок 5) опадаемость раствора резко снизилась, и при  $S_n = 12$  см и производительности растворонасоса 4 м<sup>3</sup>/ч она составила всего 13 %.



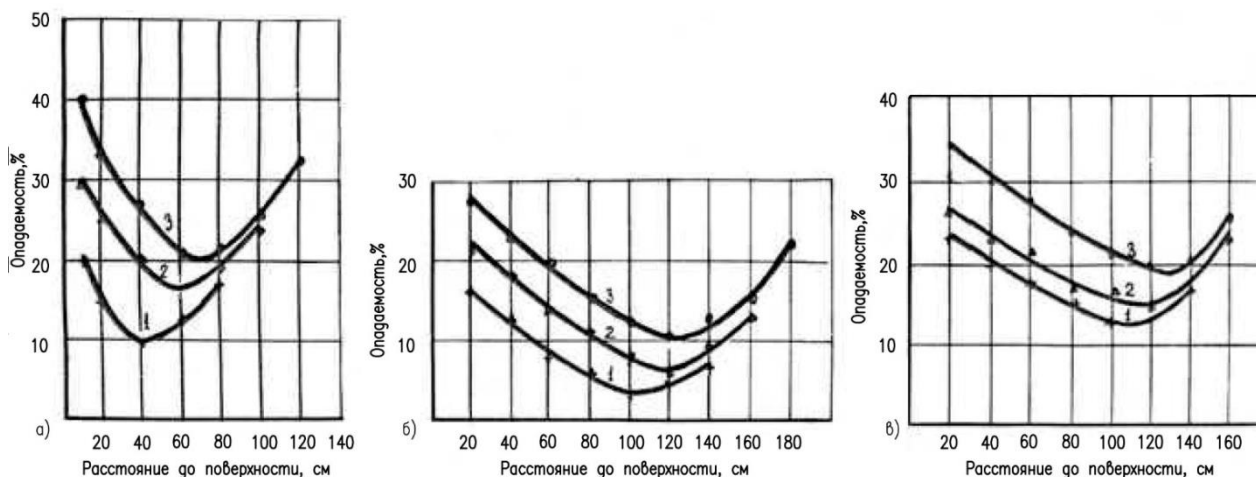
**Рис. 4.** Зависимость потерь раствора от расстояния между форсункой механического действия и обрабатываемой поверхностью ( $\varphi=45^\circ$ ). Производительность растворонасоса: а) 2; б) 4; в) 6 м<sup>3</sup>/ч. Подвижность раствора: 1-10; 2-12; 3-14 см

С увеличением угла установки  $\varphi_1$  форсунки механического действия опадаемость раствора уменьшается. Из сопоставления данных рисунков 3 ( $\varphi_1 = 0-30^\circ$ ) и 4 ( $\varphi_1 = 45^\circ$ ) в пределах расстояний до поверхности от 40 до 80 см установлено уменьшение опадаемости раствора: при подвижности  $S_n = 10$  см и  $Q_H = 2 \text{ м}^3/\text{ч}$  она с 42 % снизилась до 26 % при той же подвижности, но  $Q_H = 4-6 \text{ м}^3/\text{ч}$  она составила соответственно 50-21 % и 52-29 %.



**Рис. 5.** Зависимость потерь раствора от расстояния между форсункой пневматического действия и обрабатываемой поверхностью ( $\varphi = 0-30^\circ$ ) при различных значениях давления в подводящей воздушной системе. Производительность растворонасоса: а)  $2 \text{ м}^3/\text{ч}$ ,  $P = 0,1 \text{ МПа}$ ; б)  $4 \text{ м}^3/\text{ч}$ ,  $P = 0,15 \text{ МПа}$ ; в)  $6 \text{ м}^3/\text{ч}$ ,  $P = 0,2 \text{ МПа}$ . Подвижность раствора: 1-10; 2-12; 3-15 см

Из сравнения показателей рисунков 5 ( $\varphi_1 = 0-30^\circ$ ) и 6 ( $\varphi_1 = 45^\circ$ ) в пределах расстояний до поверхности  $L = 40-120$  см выявлены следующие границы опадаемости: при подвижности  $S_n = 10$  см и  $Q_H = 2 \text{ м}^3/\text{ч}$  она с 50 % снизилась до 10 % при той же подвижности, но при  $Q_H = 4-6 \text{ м}^3/\text{ч}$  она составила соответственно 10-3% и 18-11 %.



**Рис. 6.** Зависимость потерь раствора от расстояния между форсункой пневматического действия и обрабатываемой поверхностью на участке длиной 50 см ( $\varphi = 45^\circ$ ). Производительность растворонасоса:  $2 \text{ м}^3/\text{ч}$ ,  $P = 0,2 \text{ МПа}$ . Подвижность раствора: 1-10; 2-12; 3-14 см

Таким образом, для форсунок пневматического действия (рис. 6) наблюдалась минимальная опадаемость раствора: при  $\varphi_1 = 45^\circ$  и  $Q_H = 4 \text{ м}^3/\text{ч}$  она составляла всего 3 %. С увеличением производительности раствора насоса до  $6 \text{ м}^3/\text{ч}$  опадаемость возросла до 12 %.

Эксперименты, проведенные при угле установки форсунки  $\delta_1=60^\circ$ , имели отрицательный результат: раствор завихрялся и отбрасывался от поверхности. Поэтому, материал исследований графически не оформлялся. Сопоставление результатов экспериментов по сцеплению и опадаемости раствора с обрабатываемой поверхностью позволило определить их рациональные параметры.

Аналогичные эксперименты, выборочно выполненные другими видами форсунок, по определению параметров сцепления и опадаемости раствора показали сопоставимость результатов: отклонение верхних и нижних границ были в пределах 8-10 %.

Скорость и траектория перемещения форсунок вдоль обрабатываемой поверхности так же оказывает влияние на опадаемость раствора. На практике применяется несколько видов траекторий. Основными является прямолинейная, волновая и циклоидальная. Опыты показали – наименьшие потери имели место при прямолинейной траектории, которая была выбрана для дальнейших экспериментов. Последние подтвердили, что закономерность больших потерь при работе форсунками механического действия (по сравнению с пневматическими форсунками) сохранилась.

Рассмотрены наиболее рациональные значения скорости передвижения форсунок обоих видов.

Рациональная скорость перемещения форсунки механического действия при любой подвижности составила: для растворонасоса  $Q_H = 2 \text{ м}^3/\text{ч} - 4 \text{ м}/\text{мин.}$ ,  $Q_H = 4 \text{ м}^3/\text{ч} - 6 \text{ м}/\text{мин.}$  и  $Q_H = 6 \text{ м}^3/\text{ч} - 12 \text{ м}/\text{мин.}$ ; для форсунки пневматического действия соответственно 4, 6 и 10 м/мин.

**2. Анализ результатов эксперимента.** В результате проведения экспериментов по определению сил сцепления и опадаемости раствора определено:

а) Для форсунок механического действия: с увеличением подвижности раствора сила его сцепления с поверхностью возрастает; сила наилучшего сцепления раствора подвижности 10, 12, 14 см составляет соответственно 1,2; 1,6 и  $2,3 \cdot 10^5 \text{ Н}/\text{м}^2$  (при производительности растворонасоса  $Q_H = 2 \text{ м}^3/\text{ч}$ );

- с изменением производительности растворонасоса до  $4 \text{ м}^3/\text{ч}$  сцепление раствора с поверхностью улучшается; сила сцепления при подвижности раствора 10, 12, 14 см достигает соответственно 1,6; 2,0 и  $2,510^5 \text{ Н}/\text{м}^2$ ;

- при производительности растворонасоса  $Q_H = 6 \text{ м}^3/\text{ч}$  происходит уменьшение сил сцепления раствора (при тех же параметрах подвижности) до 1,4; 1,9 и  $2,2 \cdot 10^5 \text{ Н}/\text{м}^2$  (до уровня показателей для  $Q_H = 2 \text{ м}^3/\text{ч}$ ), так как сила удара раствора с поверхностью нарушает структуру раствора и ослабляет его связи с поверхностью.

б) Для форсунок пневматического действия описанные выше закономерности сохранились: с увеличением подвижности раствора сила его сцепления с поверхностью возрастает; сила наилучшего сцепления раствора подвижностью 10, 12, 14 см составляет соответственно 1,1; 1,5 и  $2,3 \cdot 10^5 \text{ Н}/\text{м}^2$  (при производительности растворонасоса  $2 \text{ м}^3/\text{ч}$ );

- с изменением производительности растворонасоса до  $4 \text{ м}^3/\text{ч}$  сцепление раствора с поверхностью улучшается; сила сцепления при подвижности раствора 10, 12, 14 см достигает соответственно 1,2; 1,8 и  $2,4 \cdot 10^5 \text{ Н}/\text{м}^2$ ;

- при производительности  $Q_H = 6 \text{ м}^3/\text{ч}$  и  $S_n = 10 \text{ см}$  происходило забивание форсунок раствором. При подвижности  $S_n = 12$  и  $14 \text{ см}$  максимальное значение сил сцепления составляли 1,5 и  $2,0 \cdot 10^5 \text{ Н}/\text{м}^2$ , то есть тоже (на уровне показателей для  $Q_H = 2 \text{ м}^3/\text{ч}$ );

- максимальная опадаемость раствора (3%) наблюдается при работе растворонасоса  $Q_H = 4 \text{ м}^3/\text{ч}$ .

Сопоставление результатов экспериментов по сцеплению и опадаемости раствора позволило установить взаимосвязи следующих параметров: производительности растворонасосов, скорости передвижения и угла установки форсунки по отношению к горизонтальной по-

верхности в зависимости от подвижности раствора, расстояния от форсунки до обрабатываемой поверхности.

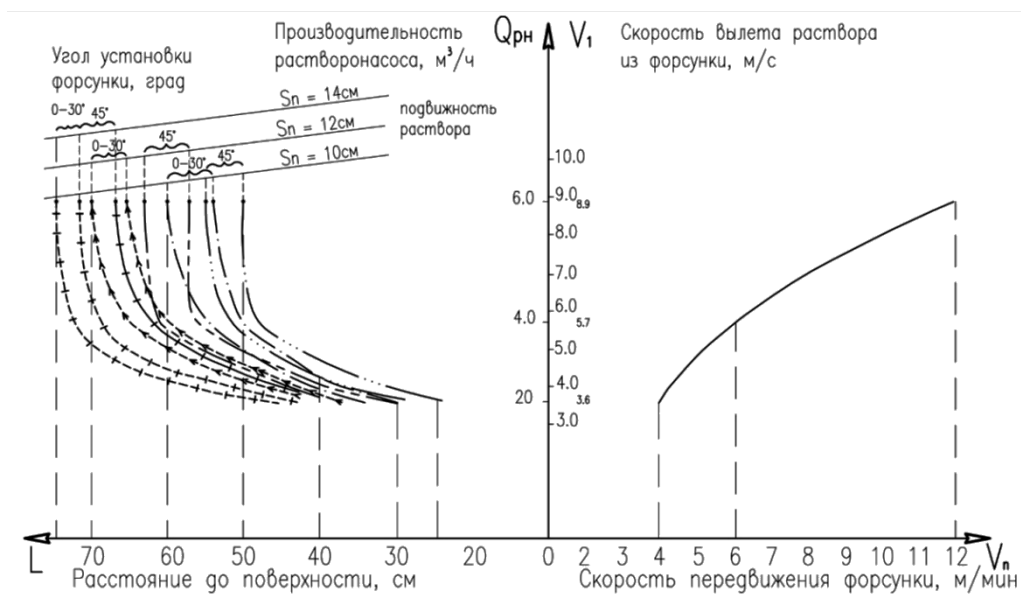


Рис. 7. Номограмма определения рациональных параметров для штукатурных форсунок механического действия

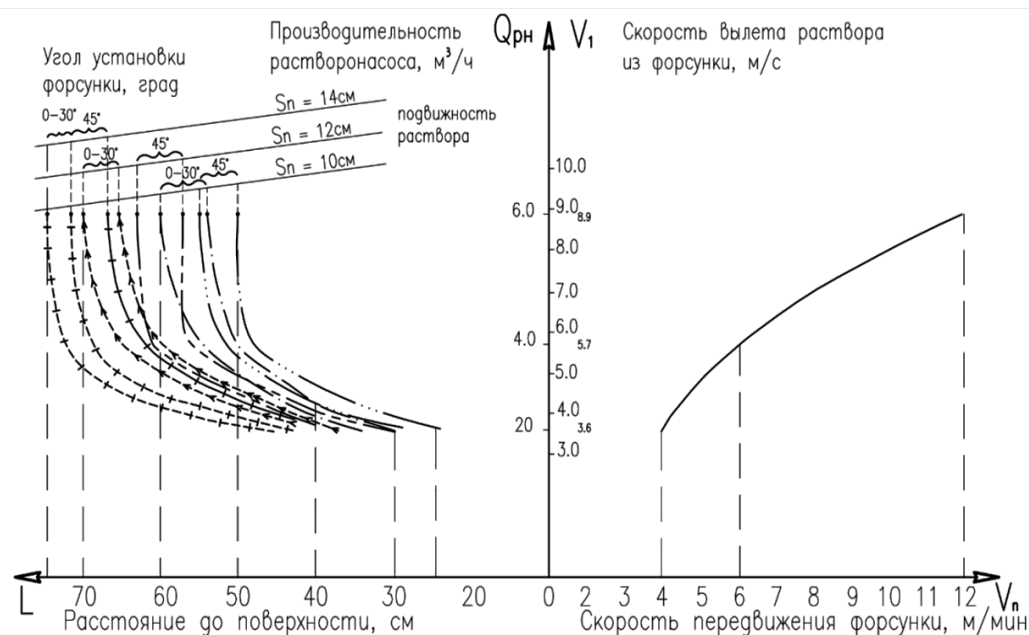


Рис. 8. Номограмма определения рациональных параметров для штукатурных форсунок пневматического действия

**Вывод.** Количественные показатели указанных взаимосвязей позволили разработать номограммы для определения рациональных параметров процесса нанесения раствора при минимальной его опадаемости, используемых в производственных условиях [3, 4]. На оси абсцисс указанных номограмм (рисунки 7 и 8) отражены изменения скорости движения форсунки и расстояния от форсунки до обрабатываемой поверхности, а на оси ординат - производительность растворонасоса. Использование номограмм в производственных услови-

ях позволяет снизить трудозатраты на 4,97 чел.-дн на 100 м<sup>2</sup> поверхности и потери раствора на 15 %.

Библиографический список

1. **Бурак, Е. Э.** Совершенствование технологии нанесения торкрет-бетона на горизонтальные поверхности пневмоопалубок. 05.23.08 – Технология и организация строительства: дис. ... канд. техн. наук / Воронежский ГАСУ – Воронеж, 2011. – 205 с.
2. **Егорова, С. П.** Исследование технологических параметров процесса нанесения штукатурного раствора на поверхность механизированным способом. 05.23.08 – Технология и организация строительства: дис. ... канд. техн. наук / Москва, 1987. – 179 с.
3. **Melkumov, V.N.** Innovative pneumotechnologies of the erection of dispersion-reinforced structures / V.N. Melkumov, A.N. Tkachenko, D.A. Kazakov // Scientific Herald of the Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering. Construction and Architecture. – 2015. – № 3(27). – С. 7-18.
4. **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.

References

1. **Burak, E. E'.** Sovershenstvovanie texnologii naneseniya torkret-betona na gorizontal'nye poverxnosti pnevmoopalubok. 05.23.08 – Texnologiya i organizaciya stroitel'stva [Tekst]: dis. ... kand. texn. nauk / Voronezh. gos. arxit.-stroit. un-t. – Voronezh, 2011. – 205 s.
2. **Egorova, S. P.** Issledovanie texnologicheskix parametrov processa naneseniya shtukaturnogo rastvora na poverxnost' mexanizirovannym sposobom. 05.23.08 – Texnologiya i organizaciya stroitel'stva [Tekst]: dis. ... kand. texn. nauk / Moskva, 1987. – 179 s.
3. **Melkumov, V. N.** Innovative pneumotechnologies of the erection of dispersion-reinforced structures / V.N. Melkumov, A.N. Tkachenko, D.A. Kazakov // Scientific Herald of the Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering. Construction and Architecture. – 2015. – № 3(27). – S. 7-18.
4. **Mel'kumov, V.N.** Vozmozhnost' sovmeshheniya texniko-matematicheskogo podxoda i metoda e'kspertnyx ocenok v diagnostike priznakov poteri nesushhej sposobnosti stroitel'nyx konstrukcij / V.N. Mel'kumov, R.Yu. Myasishhev, Yu.D. Sergeev // Nauchnyj vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo arxitekturno-stroitel'nogo universiteta. Stroitel'stvo i arxitektura. – 2014. – № 4(36). – S. 54-63

**DEVELOPMENT OF RECOMMENDATIONS FOR THE PROCESS OF APPLICATION OF MECHANIZED METHODS PLASTER SOLUTION ON THE THERATED SURFACE**

E. E. Burak, S. P. Egorova, Yu. A. Vorobyova, A. S. Grigorova

---

*Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering*

*E. E. Burak, PhD in Engineering, Ph. D. as. of Dept. of housing and communal services*

*Russia, Voronezh, tel.: +7(473)271-28-92, e-mail: schukina.niki@yandex.ru*

*S. P. Egorova, PhD in Engineering, Ph. D. as. of Dept. of housing and communal services*

*Russia, Voronezh, tel.: +7(473)271-28-92, e-mail: vgasu.gkh@gmail.com*

*Yu. A. Vorobyova, PhD in Engineering, Ph. D. as. of Dept. of housing and communal services*

*Russia, Voronezh, tel.: +7 (473)271-28-92, e-mail: vgasu.gkh@gmail.com*

*A. S. Grigorova, student of Dept. of housing and communal services*

*Russia, Voronezh, tel.:+7(473)271-28-92, e-mail: vgasu.gkh@gmail.com*

---

**Statement of the problem.** One of the most labour intensive finishing various assignments are plastering. Their production accounts for about 15 % of the total labour costs. In this regard, the study of the process of applying plaster and padamati is relevant.

**Results and Conclusions.** The paper presents the results of experimental studies on the process of applying plaster, including the relationship of process parameters, technical systems and the materials used. As a result of the processing of the data constructed nomogram to determine the rational parameters the process of applying plaster with it's minimal rebound.

**Keywords:** process parameters, plaster, rebound.

## **ПРАВИЛА НАПИСАНИЯ И ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЕЙ**

### **RULES OF PREPARATION OF ARTICLES** **ПРАВИЛА НАПИСАНИЯ И ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЕЙ**

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 ри-

сунки и фотографии желательно представлять в цветном варианте; они должны иметь хороший 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.

**СВЕДЕНИЯ  
ДЛЯ ДОКТОРАНТОВ, АСПИРАНТОВ И СОИСКАТЕЛЕЙ**

**INFORMATION  
FOR D.SC. AND PH.D. CANDIDATES**

При Воронежском государственном архитектурно-строительном университете утверждены Высшей аттестационной комиссией (ВАК) и работают следующие диссертационные советы по присуждению ученой степени доктора и кандидата технических наук:

**1. Совет Д.212.033.01**

**Председатель** - доктор технических наук, профессор  
**Болдырев Александр Михайлович;**  
тел.: (473)2-71-50-24, факс: (473)2-71-59-05.

Специальности:

- 05.23.01 Строительные конструкции, здания и сооружения;
- 05.23.05 Строительные материалы и изделия;
- 05.23.17 Строительная механика.

**2. Совет Д.212.033.02**

**Председатель** - доктор технических наук, профессор  
**Мелькумов Виктор Нарбенович;**  
тел.: (473)2-77-37-34, факс: (473)2-71-53-21.

Специальности:

- 05.23.03 Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение;
- 05.23.11 Проектирование и строительство дорог, метрополитенов, аэродромов, мостов и транспортных тоннелей;
- 05.26.03 Пожарная и промышленная безопасность (в строительстве).