

**ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО  
ИНФРАСТРУКТУРА  
КОММУНИКАЦИИ**

**Выпуск № 2 (3) 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

**№ 2 (3)**

**Май, 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**

**№ 2 (3)**

**May, 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 20.05.2016. Усл. печ. л. 6.85. Формат 60×84/8. Тираж 1000 экз. Заказ № 000  
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 20.05.2016. Conventional printed sheets 6.85. Format 60×84/8. Circulation 1000 copies. Order 000

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>ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ, ВЕНТИЛЯЦИЯ, КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА, ГАЗОСНАБЖЕНИЕ И ОСВЕЩЕНИЕ</b> .....	9
<i>Попова Н. М., Чернышов С. Ю., Петров С. А.</i>	
Оценка коэффициента замещения при вариации конструктивных параметров солнечной системы теплоснабжения.....	9
<i>Чуйкин С. В., Тульская С. Г., Плаксина Е. В., Снисарь Д. А.</i>	
Атомные станции энергоснабжения.....	13
<i>Петрикеева Н. А., Копытин А. В., Попов Н. О.</i>	
Оптимизация стоимостной целевой функции при определении толщины изоляции в системах теплоснабжения.....	26
<i>Прокопенко А. А., Козлов А. В., Мартыненко Г. Н.</i>	
Физические и био-химические процессы при переработке мусора.....	34
<i>Куцев Л. А., Волабуев И. В., Андреева Т. Ю.</i>	
Повышение эффективности работы системы централизованного теплоснабжения путем использования низкопотенциальных источников энергии.....	40
<b>СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ</b> .....	45
<i>Гришанович А. И.</i>	
Варианты применения уникальных конструкций покрытия для большепролетных спортивных сооружений.....	45
<b>ПОЖАРНАЯ И ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ (В СТРОИТЕЛЬСТВЕ)</b> .....	52
<i>Паршина А. П., Атапин Н. И.</i>	
Исследование пожароопасных режимов работы люминесцентного светильника.....	52
<b>ПРАВИЛА НАПИСАНИЯ И ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЕЙ</b> .....	57
<b>СВЕДЕНИЯ ДЛЯ ДОКТОРАНТОВ, АСПИРАНТОВ И СОИСКАТЕЛЕЙ</b> .....	59

## CONTENTS

<b>HEAT AND GAS SUPPLY, VENTILATION, AIR CONDITIONING, GAS SUPPLY AND ILLUMINATION .....</b>	<b>9</b>
<i>Popova N. M., Chernyshov S. Yu., Petrov S. A.</i> Evaluation of coefficient replacement at a variation of constructive parametrov solar heating system.....	9
<i>Chuikin S. V., Tuskaya S. G., Plaksina E. V., Snisar D. A.</i> Nuclear plants supply.....	13
<i>Petrikeeva N. A., Kopytin A. V., Popov N. O.</i> Optimization of cost criterion function at determination of thickness of isolation in systems of heat supply.....	26
<i>Prokopenko A. A., Kozlov A. V., Martynenko G. N.</i> Physical and bio-himicheskie processes at waste recycling.....	34
<i>Kushchev L. A., Volabuev I. V., Andreeva T. Yu.</i> Improving the performance of district heating by use low potentialenergy sources.....	40
<b>TECHNOLOGY AND ORGANIZATION OF CONSTRUCTION.....</b>	<b>45</b>
<i>Grishanovich I. A.</i> Applications of unique cover designs for long-span sports facilities.....	45
<b>FIRE AND INDUSTRIAL SAFETY (CIVIL ENGINEERING).....</b>	<b>52</b>
<i>Parshina A. P., Atapin N. I.</i> A study of the fire modes luminescent lamp.....	52
<b>RULES OF PREPARATION OF ARTICLES.....</b>	<b>57</b>
<b>INFORMATION FOR D.SC. AND PH.D. CANDIDATES.....</b>	<b>59</b>

# ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ, ВЕНТИЛЯЦИЯ, КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА, ГАЗОСНАБЖЕНИЕ И ОСВЕЩЕНИЕ

УДК 620.9:621.472

## ОЦЕНКА КОЭФФИЦИЕНТА ЗАМЕЩЕНИЯ ПРИ ВАРИАЦИИ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Н. М. Попова, С. Ю. Чернышов, С. А. Петров

*Воронежский государственный архитектурно-строительный университет*

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

*С. Ю. Чернышов, магистрант кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела  
Россия, г. Воронеж, тел.: +7(473)271-53-21, e-mail: teplosnab\_kaf@vgasu.vrn.ru*

*С. А. Петров, студент кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела  
Россия, г. Воронеж, тел.: +7(473)271-53-21, e-mail: teplosnab\_kaf@vgasu.vrn.ru*

**Постановка задачи.** Традиционно используемое в качестве энергоносителя невозобновляемое органическое топливо является одним из основных источников загрязнения окружающей среды. В связи с этим солнечные системы теплоснабжения должны внести существенный вклад в энергетический баланс, обеспечивая тем самым экологическое оздоровление окружающей среды. Вклад в защиту атмосферы будет определяться конструктивными параметрами солнечных систем теплоснабжения.

**Результаты.** Проведена оценка зависимости коэффициента замещения от вариации конструктивных параметров солнечной системы теплоснабжения. Определены оптимальные конструктивные параметры солнечной системы теплоснабжения.

**Выводы.** Значения коэффициента замещения возрастает с увеличением площади солнечного коллектора. Оптимальный объем бака аккумулятора находится в пределах от 0,75 до 1 м<sup>3</sup>. Максимальная доля тепловой нагрузки, обеспечиваемой за счет солнечной энергии, достигается при угле наклона солнечного коллектора 55°.

**Ключевые слова:** солнечная энергия, солнечная система теплоснабжения, коэффициент замещения.

**Введение.** Наиболее широко используемым показателем оценки энергетической эффективности использования солнечной энергии в системе теплоснабжения является коэффициент замещения (доля тепловой нагрузки, обеспечиваемой за счет солнечной энергии).

В данной работе дана оценка зависимости коэффициента замещения от вариации конструктивных параметров солнечной системы теплоснабжения [7].

**1. Принцип действия солнечных систем теплоснабжения.** Среди различных возможных аспектов использования солнечной энергии наиболее технически и экономически подготовленным направлением является утилизация солнечной энергии для теплоснабжения объектов жилищно-коммунального и сельскохозяйственного назначения. Получаемый в этом случае экологический эффект определяется расходом замещаемого органического топлива и находится в прямой зависимости от эффективности солнечных систем теплоснабжения.

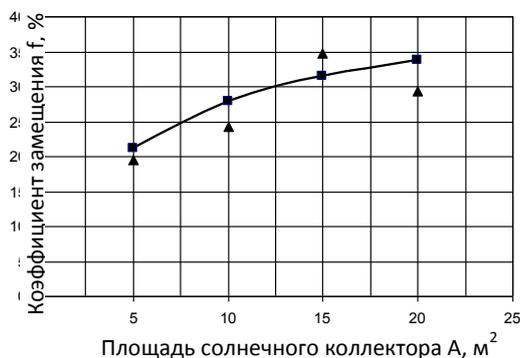
Солнечные системы теплоснабжения функционируют на технически простом принципе. Основным элементом солнечной системы теплоснабжения, в котором солнечное излуче-

ние преобразуется в тепловую энергию, является солнечный коллектор. Солнечные коллекторы могут применяться как с концентрацией, так и без концентрации солнечного излучения. В плоских коллекторах поверхность, воспринимающая солнечное излучение, является одновременно поверхностью, поглощающей излучение. Фокусирующие коллекторы, обычно имеющие вогнутые отражатели, концентрируют падающее на всю их поверхность излучение на теплообменник с меньшей площадью поверхности, увеличивая тем самым плотность потока энергии. К преимуществам плоских коллекторов следует отнести возможность использования как прямой, так и рассеянной солнечной радиации, они не требуют слежения за солнцем и не нуждаются в повседневном обслуживании. В конструктивном отношении они проще, чем система, состоящая из концентрирующих отражателей, поглощающих поверхностей и механизмов слежения. В настоящее время плоские коллекторы используются в солнечных системах теплоснабжения.

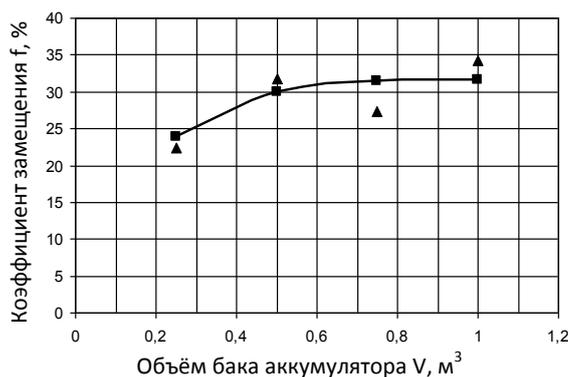
Преобразованная солнечным коллектором в теплоту солнечная энергия аккумулируется в баке-аккумуляторе за счёт теплоёмкости жидкости и используется по мере необходимости для обеспечения тепловой нагрузки отопления и горячего водоснабжения. В качестве теплоносителя в контуре системы отопления и горячего водоснабжения используется вода, в солнечном контуре для предотвращения замерзания в холодный период года антифриз. В качестве дублирующего источника энергии используют обычный котёл, который обеспечивает отопление в тех случаях, когда запас энергии в баке-аккумуляторе истощается. В комплект оборудования системы солнечного теплоснабжения входят регуляторы, предохранительные клапаны, насосы и трубопроводы [3, 5, 9].

**2. Значения коэффициента замещения при вариации конструктивных параметров солнечной системы теплоснабжения.** В работе [1] получены следующие значения коэффициентов замещения: от 21,2 до 33,7 % (от 19,5 до 34,7 – экспериментальные значения) при варьировании площади солнечного коллектора от 5 до 20 м<sup>2</sup>; от 23,9 до 31,6 (от 22,4 до 34,2 – экспериментальные значения) при варьировании объёма бака аккумулятора от 0,25 до 1 м<sup>3</sup>; и от 25,8 до 31,6 (от 22,5 до 28,2 – экспериментальные значения) при варьировании угла наклона солнечного коллектора от 0 до 60° (рис. 1-3).

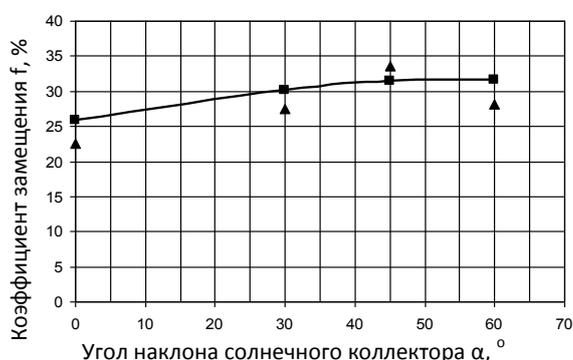
Значения коэффициента замещения возрастает с увеличением площади солнечного коллектора, однако, увеличение площади солнечного коллектора свыше 15 м<sup>2</sup> не приводит к существенному его росту. Оптимальный объём бака аккумулятора находится в пределах от 0,75 до 1 м<sup>3</sup>. Максимальная доля тепловой нагрузки, обеспечиваемой за счет солнечной энергии, достигается при угле наклона солнечного коллектора 55°.



**Рис. 1.** Зависимость коэффициента замещения от площади солнечного коллектора (объем бака аккумулятора 0,75 м<sup>3</sup>): ■ – расчетные значения коэффициента замещения; ▲ – экспериментальные значения коэффициента замещения



**Рис. 2.** Зависимость коэффициента замещения от объема бака аккумулятора (площадь солнечного коллектора 15 м<sup>2</sup>): ■ – расчетные значения коэффициента замещения; ▲ – экспериментальные значения коэффициента замещения



**Рис. 3.** Зависимость коэффициента замещения от угла наклона солнечного коллектора (объем бака аккумулятора 0,75 м<sup>3</sup>; площадь коллектора 15 м<sup>2</sup>): ■ – расчетные значения коэффициента замещения; ▲ – экспериментальные значения коэффициента замещения

**Вывод.** Масштаб использования солнечной энергии для теплоснабжения в России определяется климатическими условиями, экономическими факторами и техническими возможностями [2, 4, 6, 8].

Солнечные установки относятся к наиболее удовлетворяющим экологическим требованиям технологиям теплоснабжения. Использование солнечных установок позволит сэкономить расход органического топлива и тем самым снизить вредные выбросы в окружающую среду. Для успешного продвижения солнечных установок на российский рынок необходимы совместные усилия исследователей-разработчиков, производителей и государства. Задача исследователя-разработчика заключается в улучшении технических характеристик оборудования солнечного теплоснабжения путем определения оптимальных конструктивных решений.

#### Библиографический список

1. Сотникова, О. А. Исследование работы солнечной системы теплоснабжения отдельностоящего двухэтажного коттеджа/ О. А. Сотникова, Д. М. Чудинов// Вестник Воронежского государственного технического университета. - Том 2. - № 6. - 2006. - С. 62-64.
2. Бутузов, В. А. Гелиоустановки горячего водоснабжения: расчеты, конструкции солнечных коллекторов, экономическая и энергетическая целесообразность/ В. А. Бутузов, А. А. Лычагин //Электронный журнал «Экологические системы». – 2002. - № 5.
3. Расчёт систем солнечного теплоснабжения: Пер.: с англ./ У. Бекман, С. Клейн, Дж. Даффи. – М.: Энергоиздат, 1982, 80 с.
4. Гамбург, П. Ю. Расчёт солнечной радиации в строительстве. – М.: Стройиздат, 1966. – 140 с.

5. **Сотникова, О. А.** Использование тепловой энергии солнца в пассивных и активных системах теплоснабжения/ О.А. Сотникова, Д.М. Чудинов // Вестник Воронежского государственного технического университета. - Том 1. - № 6. - 2005. - С. 56-63.
6. **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.
7. **Чудинов, Д. М.** Использование гелиосистем в различных регионах России / Д. М. Чудинов, Т. В. Щукина // Энергосбережение. - 2009. - № 7. - С. 64-80.
8. **Naphon Paisarn.** Effect of porous media on the performance of the double-pass flat plate solar in heater/Paisarn Naphon//Int. Commun. Heat and mass transfer. - 2005. – Vol. 32, № 1-2. – P. 140-150.
9. **Jain Dilip.** Modeling the system performance of multi-pass solar air heater with in built thermal storage/ Dilip Jain//Food Eng. – 2005. -71. - № 1. – P. 44-54.

#### References

1. **Sotnikova, O. A.** A study of the work of the solar heating system detached two-storey cottage/ O. A. Sotnikova, D. M. Chudinov // Bulletin of Voronezh state technical University. Volume 2, № 6, 2006, pp. 62-64.
2. **Butuzov, V. A.** Solar hot water: calculations, designs Sol-finite manifolds, economic and energy feasibility/ V. A. Butuzov, A. A. Lychagin //Electronic journal «Ecological systems», 2002, № 5.
3. Calculation of systems of solar heat supply: TRANS.: s angl./ W. Beckman, S. Klein, J. Duffy. Moscow, 1982, 80 pp.
4. **Hamburg, P. Y.** Calculation of solar radiation in building. Moscow, 1966, 140 pp.
5. **Sotnikova, O. A.** The use of thermal solar energy in passive and active heating systems/ O. A. Sotnikova, D. M. Chudinov // Bulletin of Voronezh state technical University. Volume 1, № 6, 2005, pp. 56-63.
6. **Chudinov, D. M.** Influence of parameters of equipment of solar power plants on the efficiency of the alternative heat supply of buildings/ D. M. Chudinov, V. V. Shchukin, O. A. Sunico-WA// Industrial energy, 2008, № 9, pp. 44-46.
7. **Chudinov, D. M.** The use of solar power systems in different regions of Russia/ D. M. Chudinov, V. V. Schukin // Energoberezhenie, 2009, № 7, pp. 64-80.
8. **Paisarn Naphon.** Effect of porous media on the performance of the double-pass flat plate solar in heater/Paisarn Naphon//Int. Commun. Heat and mass transfer, 2005, Vol. 32, № 1-2, pp. 140-150.
9. **Jain Dilip.** Modeling the system performance of multi-pass solar air heater with in built thermal storage/ Dilip Jain//Food Eng, 2005, 71, № 1, pp. 44-54.

## EVALUATION OF COEFFICIENT REPLACEMENT AT A VARIATION OF CONSTRUCTIVE PARAMETROV SOLAR HEATING SYSTEM

N. M. Popova, S. Yu. Chernyshov, S. A. Petrov

---

*Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering*

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

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

*S. Y. Chernyshov, Master of Dept. of Heat and Gas Supply and Oil and Gas Business*

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

*S. A. Petrov, student of Dept. of Heat and Gas Supply and oil and gas business*

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

---

**Statement of the problem.** Traditionally used as energy carrier non-renewable organic fuel is one of the main sources of environmental pollution. In this regard, the solar heating system needs to make a significant contribution to the energy balance, thereby ensuring ecological improvement of the environment. Contribution to the protection of the atmosphere will be determined by the design parameters of the solar heating systems.

**Results.** The evaluation of the dependence of the replacement rate from the variations of the design parameters of the solar heating system. The optimal design parameters of the solar heating system.

**Conclusions.** The values of the replacement ratio increases with the square of the solar collector. The optimal capacity of the battery is in the range from 0.75 to 1 m<sup>3</sup>. The maximum proportion of the heat load provided by solar energy is achieved when the angle of inclination of a solar collector 55°.

**Key words:** solar energy, solar heating system, the replacement rate.

УДК 621:697.34

**АТОМНЫЕ СТАНЦИИ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ**

С. В. Чуйкин, С. Г. Тульская, Е. В. Плаксина, Д. А. Снисарь

*Воронежский государственный архитектурно-строительный университет**С.В. Чуйкин, канд. техн. наук, доцент кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела**Россия, г.Воронеж, тел.: +7(473)271-53-21, e-mail: ser.chu@mail.ru**С.Г. Тульская, канд. техн. наук, доцент кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела**Россия, г.Воронеж, тел.: +7(473)271-53-21, e-mail: tcbtnkfyf2014@ya.ru**Е.В. Плаксина, старший преподаватель кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела**Россия, г.Воронеж, тел.: +7(473)271-53-21, e-mail: teplosnab\_kaf@vgasu.vrn.ru**Д.А. Снисарь, студентка института инженерных систем в строительстве**Россия, г.Воронеж, тел.: +7(473)271-53-21, e-mail: feel032@yandex.ru*

**Постановка задачи.** Одной из главных задач современной энергетики является эффективное использование всех природных источников энергии. В связи с тенденцией экономии природных ресурсов, требуется увеличить энергетический потенциал атомных источников и обеспечить рациональную организацию их технологических и производственных процессов. В связи с этим возрастает актуальность изучения существующих отечественных и зарубежных атомных станций энергоснабжения.

**Результаты и выводы.** Рассмотрены характеристики современных отечественных и зарубежных атомных станций, характерные особенности и требования к ядерным реакторам. АЭС могут сооружаться в любом географическом месте, в том числе и труднодоступном, так как требуют малого количества топлива, они не загрязняют биосферу, поэтому их можно рассматривать как ближайшее будущее энергетики.

**Ключевые слова:** энергоснабжение, ядерный реактор, теплоэнергетика, атомная энергетика.

**Введение.** В настоящее время, топливо стало одним из определяющих факторов развития производства. Убедительным примером ключевой роли топливно-энергетической базы в мировой экономике явились так называемые энергетические кризисы, сделавшие эту проблему одной из острейших и глобальных. Возникшая в мире новая энергетическая обстановка связана со скорым уменьшением на планете не возобновляемых источников энергии: нефти и газа, поиск и добыча которых вызывают прогрессивно растущие издержки.

Очевидно, что в этих условиях доля ядерной энергетики в топливно-энергетическом балансе будет неуклонно возрастать. Становление ядерной энергетики стартовало с запуска в СССР в 1954 г. первой в мире атомной электростанции мощностью 5 МВт. С тех пор стали различать тепловые станции на органическом топливе (ТЭС, ТЭЦ) и на ядерном топливе (АЭС, АТЭЦ) [1, 2, 5, 7, 8]. Из выше сказанного можно сделать вывод, что актуальность электроснабжения городских потребителей от атомных источников неуклонно возрастает.

**1. Характеристика существующих отечественных и зарубежных атомных станций.** Сегодня Российская Федерация – это мировой фаворит по численности энергоблоков, сооружаемых в стране и за рубежом. В настоящее время госкорпорация «Росатом» сооружает за границей более десятка атомных энергоблоков. Конкурентоспособность российских предложений обусловлена применением современных технологий и новейших разработок российских ученых и конструкторов. Все проекты соответствуют современным международным требованиям и рекомендациям МАГАТЭ [3]. В таблице 1 представлены главные характеристики функционирующих и строящихся атомных станций отечественных проектов госкорпорации «Росатом» [3, 4, 10, 15].

Таблица 1

## Функционирующие и строящиеся атомные станции отечественных проектов

Название	Описание
 <p data-bbox="320 853 563 887">Балаковская АЭС</p>	<p data-bbox="759 405 1417 439">Расположение: близ г. Балаково (Саратовская обл.);</p> <p data-bbox="759 439 1134 472">Типы реакторов: ВВЭР-1000;</p> <p data-bbox="759 472 978 506">Энергоблоков: 4;</p> <p data-bbox="759 506 1417 539">Годы ввода в эксплуатацию: 1985, 1987, 1988, 1993;</p> <p data-bbox="759 539 1445 972">АЭС относится к числу крупнейших и передовых компаний энергетики РФ, обеспечивая четверть производства электроэнергии в Приволжском федеральном округе. Ее электроэнергией надежно обеспечиваются потребители Поволжья (76% поставляемой электроэнергии), Центра (13%), Урала (8%) и Сибири (3%). Она оснащена реакторами ВВЭР (водо-водяные энергетические реакторы корпусного типа с обычной водой под давлением). Электроэнергия Балаковской АЭС - самая дешевая среди всех АЭС и тепловых электростанций России. Коэффициент использования установленной мощности (КИУМ) на АЭС составляет более 80% [3, 4].</p>
 <p data-bbox="328 1451 555 1485">Белоярская АЭС</p>	<p data-bbox="759 978 1442 1012">Расположение: близ г. Заречный (Свердловская обл.);</p> <p data-bbox="759 1012 1265 1046">Типы реакторов: АМБ-100/200, БН-600;</p> <p data-bbox="759 1046 1442 1113">Энергоблоков: 3 (2 – выведены из эксплуатации) + 1 в стадии строительства;</p> <p data-bbox="759 1113 1342 1146">Годы ввода в эксплуатацию: 1964, 1967, 1980;</p> <p data-bbox="759 1146 1445 1581">Это первая АЭС большой мощности в истории атомной энергетики государства, и единственная с реакторами различных типов на площадке. Как раз на Белоярской АЭС эксплуатируется единственный в мире мощнейший энергоблок с реактором на быстрых нейтронах БН-600 (№ 3). Энергоблоки на быстрых нейтронах призваны существенно расширить топливную базу атомной энергетики и минимизировать расход отходов за счёт организации замкнутого ядерно-топливного цикла. Физический пуск реактора БН-800 состоялся в 2014 году, включение энергоблока №4 в энергосистему запланировано на 2015 год [3, 4].</p>
 <p data-bbox="312 1973 563 2007">Билибинская АЭС</p>	<p data-bbox="759 1588 1442 1655">Расположение: близ г. Билибино (Чукотский авт. округ);</p> <p data-bbox="759 1655 1070 1688">Типы реакторов: ЭГП-6;</p> <p data-bbox="759 1688 978 1722">Энергоблоков: 4;</p> <p data-bbox="759 1722 1385 1756">Годы ввода в эксплуатацию: 1974 (2), 1975, 1976;</p> <p data-bbox="759 1756 1445 2047">На АЭС эксплуатируются четыре уран-графитовых канальных реактора установленной электрической мощностью 12 МВт каждый. Станция вырабатывает как электрическую, так и тепловую энергию, которая идет на теплоснабжение Билибино. Станция производит около 75% электроэнергии, вырабатываемой в Чаун-Билибинской энергосистеме (на данную систему приходится около 40% потребления электроэнергии в Чукотском АО) [3, 4].</p>

Продолжение табл. 1

Название	Описание
 <p data-bbox="316 842 574 875">Калининская АЭС</p>	<p data-bbox="751 315 1406 349">Расположение: близ г. Удомля (Тверская обл.);</p> <p data-bbox="751 351 1121 385">Тип реактора: ВВЭР-1000;</p> <p data-bbox="751 387 991 421">Энергоблоков: 4;</p> <p data-bbox="751 423 1430 495">Год ввода в эксплуатацию: 1984, 1986, 2004, 2012;</p> <p data-bbox="751 497 1430 1010">АЭС производит 70% от всего объема электроэнергии, производимой в Тверской области, и обеспечивает электроэнергией большинство промышленных предприятий Тверской области. В составе Калининской атомной станции четыре действующих энергоблока с водо-водяными энергетическими реакторами ВВЭР-1000 мощностью 1000 МВт (эл.) каждый. Благодаря своему географическому месторасположению, станция осуществляет высоковольтный транзит электроэнергии и выдает мощность в Единую энергосистему Центра России и далее по высоковольтным линиям - на Тверь, Москву, Санкт-Петербург, Владимир и Череповец [3, 4].</p>
 <p data-bbox="336 1404 544 1438">Кольская АЭС</p>	<p data-bbox="751 1016 1281 1088">Расположение: близ г. Полярные Зори (Мурманская обл.);</p> <p data-bbox="751 1090 1106 1124">Тип реактора: ВВЭР-440;</p> <p data-bbox="751 1126 991 1160">Энергоблоков: 4;</p> <p data-bbox="751 1162 1430 1487">Год ввода в эксплуатацию: 1973, 1974, 1981, 1984; Кольская АЭС, расположенная в 200 км к югу от г. Мурманск на берегу озера Имандра, считается главным поставщиком электроэнергии для Мурманской области и Карелии. В эксплуатации находятся 4 энергоблока с реакторами типа ВВЭР-440 проектов В-230 (блоки №№ 1, 2) и В-213 (блоки № 3,4). Генерируемая мощность - 1760 МВт [3, 4].</p>
 <p data-bbox="344 1935 536 1968">Курская АЭС</p>	<p data-bbox="751 1494 1414 1527">Расположение: близ г. Курчатова (Курская обл.);</p> <p data-bbox="751 1529 1126 1563">Тип реактора: РБМК-1000;</p> <p data-bbox="751 1565 991 1599">Энергоблоков: 4;</p> <p data-bbox="751 1601 1430 1673">Год ввода в эксплуатацию: 1976, 1979, 1983, 1985;</p> <p data-bbox="751 1675 1430 2000">АЭС размещена на левом берегу реки Сейм, в 40 км юго-западнее Курска. На ней эксплуатируются четыре энергоблока с реакторами РБМК-1000 (уран-графитовые реакторы канального типа на тепловых нейтронах) общей мощностью 4 ГВт (эл.). В 1993-2004 гг. были конструктивно модернизированы энергоблоки первого поколения (блоки №№ 1, 2), в 2008-2009 гг. - блоки второго поколения (№№ 3, 4) [3, 4].</p>

Название	Описание
 <p data-bbox="300 725 582 757">Ленинградская АЭС</p>	<p data-bbox="753 315 1198 383">Расположение: г. Сосновый Бор (Ленинградская обл.) ;</p> <p data-bbox="753 389 1134 421">Тип реактора: РБМК-1000;</p> <p data-bbox="753 427 1369 459">Энергоблоков: 4 + 2 в стадии строительства;</p> <p data-bbox="753 465 1430 533">Год ввода в эксплуатацию: 1973, 1975, 1979, 1981;</p> <p data-bbox="753 539 1430 786">ЛАЭС была первой в стране станцией с реакторами РБМК-1000. Она была построена в 80 км западнее Санкт-Петербурга, на берегу Финского залива. На АЭС эксплуатируются 4 энергоблока электрической мощностью 1000 МВт каждый. В настоящий момент сооружается вторая очередь станции (см. Ленинградская АЭС-2 ниже) [3, 4].</p>
 <p data-bbox="284 1330 608 1361">Нововоронежская АЭС</p>	<p data-bbox="753 797 1257 864">Расположение: близ г. Нововоронеж (Воронежская обл.);</p> <p data-bbox="753 871 1345 902">Тип реактора: ВВЭР различной мощности;</p> <p data-bbox="753 909 1430 976">Энергоблоков: 3 (еще 2 выведены из эксплуатации);</p> <p data-bbox="753 983 1430 1050">Год ввода в эксплуатацию: 1964, 1969, 1971, 1972, 1980; Одна из первых в России АЭС с реакторами типа ВВЭР. Каждый из пяти реакторов станции является прототипом серийных энергетических реакторов. Энергоблок № 1 был оснащен реактором ВВЭР-210, энергоблок № 2 - реактором ВВЭР-365, энергоблоки №№ 3, 4 - реакторами ВВЭР-440, энергоблок № 5 - реактором ВВЭР-1000. В настоящее время в эксплуатации находятся три энергоблока (энергоблоки №№ 1,2 были остановлены в 1988 и 1990 гг.). Нововоронежская АЭС-2 сооружается по проекту АЭС-2006 с использованием реакторной установки ВВЭР-1200 [3, 4].</p>
 <p data-bbox="327 1908 555 1939">Ростовская АЭС</p>	<p data-bbox="753 1491 1246 1559">Расположение: близ г. Волгодонска (Ростовская обл.);</p> <p data-bbox="753 1565 1129 1597">Тип реактора: ВВЭР-1000;</p> <p data-bbox="753 1603 1353 1635">Энергоблоков: 2+2 в стадии строительства;</p> <p data-bbox="753 1641 1430 1709">Год ввода в эксплуатацию: 2001, 2010; Ростовская АЭС обеспечивает около 15% годовой выработки электроэнергии в регионе. Она расположена на берегу Цимлянского водохранилища, в 13,5 км от Волгодонска. Энергоблок №2 введен в промышленную эксплуатацию 10 декабря 2010 года. Процесс физического пуска энергоблока №3 Ростовской атомной станции начался 14 ноября 2014 года [3, 4].</p>

Продолжение табл. 1

Название	Описание
 <p data-bbox="331 703 555 736">Смоленская АЭС</p>	<p data-bbox="751 309 1217 376">Расположение: близ г. Десногорска (Смоленская обл.);</p> <p data-bbox="751 378 1114 412">Тип реактора: РБМК-1000;</p> <p data-bbox="751 414 979 448">Энергоблоков: 3;</p> <p data-bbox="751 450 1433 779">Год ввода в эксплуатацию: 1982, 1985, 1990; АЭС сооружена в 3 км от города-спутника Десногорск, на юге Смоленской области. Станция состоит из трёх энергоблоков с реакторами РБМК-1000. В 2007 году она первой среди АЭС России получила сертификат соответствия системы менеджмента качества международному стандарту ISO 9001:2000. САЭС - крупнейшее градообразующее предприятие Смоленской области [3, 4].</p>
 <p data-bbox="339 1151 547 1184">Балтийская АЭС</p>	<p data-bbox="751 790 1137 857">Расположение: близ г. Неман (Калининградская обл.);</p> <p data-bbox="751 860 1102 893">Тип реактора: ВВЭР-1200;</p> <p data-bbox="751 896 1129 929">Количество энергоблоков: 2;</p> <p data-bbox="751 931 1433 1184">Балтийская АЭС - первый проект сооружения атомной станции на территории России, к которому планируется допустить частных инвесторов. Проект предусматривает использование реакторной установки ВВЭР мощностью 1200 МВт (электрических). Расчетный срок службы каждого блока - 60 лет [3, 4].</p>
 <p data-bbox="312 1576 576 1610">Нижегородская АЭС</p>	<p data-bbox="751 1193 1150 1261">Расположение: пос. Монаково (Нижегородская обл.);</p> <p data-bbox="751 1263 1102 1296">Тип реактора: ВВЭР-1200;</p> <p data-bbox="751 1299 1129 1332">Количество энергоблоков: 2;</p> <p data-bbox="751 1335 1433 1621">Сооружение двухблочной Нижегородской АЭС находится на стадии работы над проектной документацией и материалами для получения лицензий на строительство станции. В кратчайший период планируется завершить инженерные изыскания на площадке будущего строительства, в том числе на территории будущего жилого поселка энергетиков и линейных объектов на окрестных территориях</p>
 <p data-bbox="244 1995 647 2029">Белорусская АЭС (Беларусь)</p>	<p data-bbox="751 1630 1177 1697">Расположение: близ г. Островец (Гродненская область);</p> <p data-bbox="751 1700 1102 1733">Тип реактора: ВВЭР-1200;</p> <p data-bbox="751 1736 1433 1803">Количество энергоблоков: 2 (в стадии сооружения);</p> <p data-bbox="751 1805 1433 2024">Для сооружения первой белорусской АЭС был выбран проект «АЭС-2006», который полностью соответствует рекомендациям МАГАТЭ. АЭС будет состоять из двух энергоблоков мощностью 1200 МВт каждый. Строительство АЭС осуществляется российской стороной [3, 4].</p>

Название	Описание
 <p data-bbox="188 824 687 853">Плавучая АЭС «Академик Ломоносов»</p>	<p data-bbox="751 309 1418 1010">Расположение: районы Крайнего Севера;          Тип реактора: КЛТ-40С;          Количество энергоблоков: 2;          Первая в мире плавучая атомная теплоэлектростанция (ПАТЭС) оснащена судовыми реакторами типа КЛТ-40С. Аналогичные установки успешно эксплуатируются на атомных ледоколах. Электрическая мощность станции составит 70 МВт. Основным элементом станции – лавучий энергоблок сооружается промышленным способом на судостроительном заводе и доставляется к месту размещения морским путем в готовом виде. На площадке размещения строятся только вспомогательные сооружения, обеспечивающие установку плавучего энергоблока и передачу тепла и электроэнергии на берег. Строительство первого плавучего энергоблока началось в 2007 году на ОАО ПО «Севмаш», в 2008 году проект был передан ОАО «Балтийский завод» в Санкт-Петербурге. 30 июня 2010 года состоялся спуск на воду плавучего энергоблока. В 2015 году планируется завершение строительства [3, 4].</p>
 <p data-bbox="256 1417 619 1447">АЭС «Куданкулам» (Индия)</p>	<p data-bbox="751 1014 1418 1485">Расположение: близ г. Куданкулам (штат Тамилнад);          Тип реактора: ВВЭР-1000;          Количество энергоблоков: 4 (3 - в стадии сооружения);          Проект «АЭС-92», по которому сооружается станция, был разработан институтом «Атомэнергопроект» на базе серийных энергоблоков, эксплуатирующихся длительное время в России и странах Восточной Европы. Первый блок АЭС "Куданкулам" был включен в национальную энергосистему Индии в 2013 году. На сегодняшний день он является самым мощным в Индии и соответствует наиболее современным требованиям безопасности. Пуск второго энергоблока станции ожидается в 2016 году [3, 4].</p>
 <p data-bbox="300 1937 576 1966">АЭС «Бушер» (Иран)</p>	<p data-bbox="751 1489 1418 2020">Расположение: близ г. Бушер (провинция Бушир);          Тип реактора: ВВЭР-1000;          Количество энергоблоков: 3 (1 – построен, 2 - в стадии сооружения);          АЭС «Бушер» – первая в Иране и на Ближнем Востоке атомная электростанция. Строительство было начато в 1974 году немецким концерном Kraftwerk Union A.G. и приостановлено в 1980 году из-за решения о присоединении к эмбарго на поставки оборудования в Иран. Строительство АЭС было возобновлено в 1995 году. Отечественным подрядчикам удалось реализовать интеграцию оборудования в строительную часть, выполненную по немецкому проекту. Электростанция была подключена к электрической сети Ирана в сентябре 2011 года. В 2014 г. заключен контракт на сооружение еще двух энергоблоков АЭС.</p>

Продолжение табл. 1

Название	Описание
 <p data-bbox="272 656 619 689">Тяньваньская АЭС (Китай)</p>	<p data-bbox="751 309 1436 645">Расположение: близ г. Ляньюньган (округ Ляньюньган); Тип реактора: ВВЭР-1000; Количество энергоблоков: 4 (2 - в стадии сооружения); АЭС была построена российскими специалистами и сдана в 2007 году. Благодаря новым системам безопасности она является одной из самых современных станций в мире. Третий и четвертый блоки Тяньваньской АЭС будут оснащены реакторными установками ВВЭР-1000 [3, 4].</p>
 <p data-bbox="260 1037 632 1070">АЭС «Ниньтхуан» (Вьетнам)</p>	<p data-bbox="751 689 1436 1059">Расположение: близ г. Фуокдин (провинция Ниньтхуан); Тип реактора: ВВЭР-1000 или ВВЭР-1200; Количество энергоблоков: 2 (в стадии сооружения); Проект сооружения первой АЭС во Вьетнаме предполагает строительство энергоблоков №1 и №2 с реакторами типа ВВЭР-1000 или ВВЭР-1200 (окончательный выбор пока не сделан). Место реализации проекта - провинция Ниньтхуан, Вьетнам. В рамках реализации проекта студенты из Вьетнама обучаются в России на технических специальностях [3, 4].</p>
 <p data-bbox="268 1507 624 1541">АЭС «Руппур» (Бангладеш)</p>	<p data-bbox="751 1093 1436 1597">Расположение: близ пос. Руппур (округ Пабна); Тип реактора: ВВЭР-1000; Количество энергоблоков: 2 (в стадии сооружения); Межправительственное соглашение о сотрудничестве в строительстве первой бангладешской АЭС «Руппур» было подписано в ноябре 2011 года. Первый камень был заложен осенью 2013 года. В настоящее время осуществляется подготовительная стадия строительства энергоблоков №1 и №2 с реакторами типа ВВЭР-1000, общей мощностью в 2000 МВт. Место реализации проекта – площадка в 160 км от г. Дакка. Основной отличительной чертой является оптимальное сочетание активных и пассивных систем безопасности [3, 4].</p>
 <p data-bbox="292 1944 600 1977">АЭС «Аккую» (Турция)</p>	<p data-bbox="751 1597 1436 1973">Расположение: близ г. Мерсин (провинция Мерсин); Тип реактора: ВВЭР-1200; Количество энергоблоков: 4 (в стадии сооружения); Техничко-экономические показатели АЭС обеспечат надежную и экономичную выработку электрической и тепловой энергии в соответствии с требованиями турецкого заказчика. Проектный срок эксплуатации АЭС - 60 лет. Проект АЭС «Аккую» предусматривает сооружение четырех энергоблоков с реакторами ВВЭР мощностью 1200 МВт каждый [3, 4].</p>

Название	Описание
 <p data-bbox="327 730 563 763">Воронежская АЭС</p>	<p data-bbox="751 465 1430 645">Расположение: близ г. Воронеж; Тип реактора: АСТ-500; Количество энергоблоков: 2 (в эксплуатацию не вводились); Строительство остановлено в 1990 г. [3, 4].</p>
 <p data-bbox="312 1102 577 1171">АЭС «Ханхикиви-1» (Финляндия)</p>	<p data-bbox="751 770 1430 1167">Расположение: мыс Ханхикиви (регион Пюхяйоки); Тип реактора: ВВЭР-1200; Количество энергоблоков: 1 (в стадии сооружения); В декабре 2014 года ЗАО «Русатом Оверсиз» объявило конкурс на выполнение проектно-исследовательских работ по сооружению АЭС «Ханхикиви-1». Компания Fennovoima Oyj в июне 2015 году подала заявку на получение лицензии на строительство АЭС [3, 4].</p>
 <p data-bbox="331 1541 558 1579">Горьковская АЭС</p>	<p data-bbox="751 1267 1430 1480">Расположение: близ д.Федяково (Нижегородская обл.); Тип реактора: АСТ-500; Количество энергоблоков: 2 (в эксплуатацию не вводились); Строительство остановлено в 1993 г. [3, 4].</p>
 <p data-bbox="339 1908 550 1937">Обнинская АЭС</p>	<p data-bbox="751 1675 1166 1854">Расположение: г. Обнинск; Тип реактора: АМ-1; Количество энергоблоков: 1; Ввод в эксплуатацию: 1954 г.; Закрита в 2002 г. [1, 2].</p>

Таблица 2

## Функционирующие и строящиеся атомные станции зарубежных проектов

	<p>Расположение: г.Лима провинция Буэнос-Айрес;          Тип реактора: PHWR (тяжеловодный ядерный реактор);          Количество энергоблоков: 2;          Год начала строительства: 1968 г.;          Ввод в эксплуатацию: 1974 г.;          Мощность: №1-357 МВт, №2-745 МВт;          АЭС «Атуча» стала первой в Латинской Америке атомной электростанцией [12].</p>
	<p>Расположение: г. Эмбальсе провинция Кордова;          Тип реактора: CANDU (тяжеловодный водо-водяной ядерный реактор);          Количество энергоблоков: 1;          Год начала строительства: 1974 г.;          Ввод в эксплуатацию: 1984 г.;          Мощность: 648 МВт;          Кроме электроэнергии, на станции производится кобальт-60, использующийся в промышленности, науке и медицине [10].</p>
	<p>Расположение: округе Тяньцзинь;          Тип реактора: №1 – F 3-loop; №2 – W 3-loop; №3 – W 3-loop (Водо-водяные ядерные реакторы);          Количество энергоблоков: 3;          Год начала строительства: 1970 г.;          Ввод в эксплуатацию: 1975 г.;          Мощность: №1-962 МВт; №2-1008 МВт; №3-1015 МВт;          Проектный срок эксплуатации реакторов - 30 лет. В 2003г. был принят закон, продливший срок эксплуатации реакторов АЭС Тяньцзинь до 40 лет [11].</p>
	<p>Расположение: г.Данбар, Шотландия;          Тип реактора: AGR «газоохлаждаемый реактор»;          Количество энергоблоков: 2;          Год начала строительства: 1980;          Ввод в эксплуатацию: 1988;          Мощность: 1364 МВт;          Станция является последней из атомных электростанций второго поколения с реакторами AGR, введенных в эксплуатацию в Великобритании [9].</p>
	<p>Расположение: округ Фэрфилд, штат Южная Каролина          Тип реактора: PWR (водо-водяной ядерный реактор)          Количество энергоблоков: 3;          Год начала строительства: 1973;          Ввод в эксплуатацию: 1982;          Мощность: 966 МВт;          В настоящее время на ней эксплуатируется один энергоблок с реактором PWR-1000 [13].</p>

Одним из наиболее ответственных элементов атомных станций является ядерный реактор. По конструкции они подразделяются на канальные, с графитовым замедлителем в одноконтурных установках, и корпусные водо-водяные реакторы в двухконтурных установках. В обоих типах используется паротурбинный цикл. Рассмотрим более подробно характерные особенности этих устройств и предъявляемые к ним требования.

**2. Характерные особенности и требования к ядерным реакторам.** Ядерный реактор является устройством, в котором осуществляется контролируемая цепная реакция деления ядер урана 233, урана 235, плутония 239. При делении ядер 1 кг урана 235 высвобождается энергия  $8 \times 10^{13}$  Дж, тогда как при сгорании 1 кг органического топлива выделяется энергия  $(3 \div 5) \times 10^7$  Дж. В этом заключается одно из ключевых превосходств ядерного топлива позволяющее экономить такие ценные виды топлива, как нефть, газ и уголь.

Энергия, выделяемая в реакторе, выводится в виде теплоты, которая затем, в зависимости от потребителя, преобразуется в энергию другого вида. Реактор вместе с комплексом оборудования, который обеспечивает преобразование и передачу энергии, составляют ядерную энергетическую установку. По-своему назначение большинство действующих реакторов является энергетическими и предназначены для получения энергии для различных потребителей.

В состав ядерного реактора входят: ядерное топливо, замедлитель и отражатель нейтронов, органы регулирования и контроля, внутри корпусные конструкции, корпус, теплоноситель. Центральную часть ядерного реактора, включающую топливо, замедлитель, а также органы регулирования и контроля называют активной зоной. Активная зона размещается в корпусе.

По способу размещения топлива различают гомогенные и гетерогенные реакторы. Практическое использование получили гетерогенные реакторы, в которых ядерное топливо в виде отдельных элементов, называемых тепловыделяющими элементами – *ТВЭЛами*, изготовляемых из сплавов, соединений или смесей, помещается в тепловыделяющие сборки (ТВС). Блок ТВС называют также кассетами.

Отвод теплоты из активной зоны осуществляется с помощью нагрева, циркулирующего через активную зону теплоносителя. Управление мощностью реактора (процессами деления) осуществляется путем изменения реактивности с помощью регулирующих органов, представляющих собой перемещающиеся стержни или же поворотные барабаны. Их производят из материалов, хорошо поглощающих нейтроны (бор, европий и др.). Различают три вида таких органов: компенсационные, регулирующие, аварийные. Компенсационные – предусмотрены для компенсации лишней реактивности, которая имеется в начале работы реактора и обусловлена кампанией реактора. Регулирующие – поддерживают заданный уровень мощности реактора. С помощью аварийных - происходит быстрое прекращение процессов деления при превышении контролируемых характеристик допустимого уровня.

Ядерные реакторы независимо от их типа характеризуются рядом специфических особенностей. Ядерное топливо отличается высокой энергоемкостью. Объемное тепловыделение в топливе составляет  $\sim 10^9$  Вт/м<sup>3</sup>, что приводит к тепловым потокам  $\sim 10^6$  Вт/м<sup>2</sup>. Высокая теплонапряженность активной зоны предъявляет повышенные требования к организации процессов теплосъема (охлаждения) в реакторе. Следствием большой энергоемкости ядерного реактора является необходимость организовывать надлежащие меры безопасности, исключающие вероятность неконтрольного выделения энергии.

В отличие от метода сжигания органического топлива, когда выполняется постоянная подача его в зону горения, в ядерный реактор топливо загружается порциями. Впоследствии его выгорания оно совместно с накопившимися продуктами деления выгружается из реактора и заменяется новым. Буквально это означает замену отработанных ТВС новыми. Время, которое ядерное топливо находится в реакторе, составляет несколько лет. Продолжительность работ топлива в пересчете на полную мощность реактора называется кампанией топ-

лива. Имеющийся в начале кампании запас топлива требует компенсации, обеспечиваемой размещением в активной зоне необходимого количества поглощающих нейтроны материалов (компенсационные стержни), которые выводятся из активной зоны по мере выгорания топлива.

Для работы ядерных реакторов не требуется окислитель. Отсутствие дымовых газов сокращает издержки тепловой энергии, повышает термодинамический КПД установок и ликвидирует загрязнение окружающей среды продуктами сгорания, несгоревшими остатками горючего и различными вредоносными примесями.

Особенностью физики реакторов считается наличие тепловыделений не только в ядерном топливе, но и в конструкционных материалах. Доля этого тепла составляет несколько процентов от общего тепловыделения, однако из-за большой величины тепла, выделяемого в реакторе, тепловыделение в конструкционных материалах значительно, поэтому необходимо предусматривать их охлаждение. После остановки реактора в активной зоне некоторое время продолжается тепловыделение вследствие перехода образовавшихся при делении нестабильных радиоактивных осколков в стабильные продукты деления. Отвод остаточного тепловыделения обеспечивается либо штатной системой циркуляции теплоносителя, либо с помощью специальной системы. Процесс деления ядер в реакторе сопровождается излучением, оказывающим вредное воздействие на обслуживающий персонал. Для защиты от воздействия излучения предусматриваются специальные меры - биологическая защита, вентиляция, различные фильтры, системы очистки, газгольдеры, выдержки и др., благодаря которым обеспечиваются нормальные условия для работающих и окружающего населения.

Важной задачей ядерной энергетики является удаление и захоронение радиоактивных отходов. Отработавшие ТВЭЛы, утечки активного теплоносителя, загрязнение жидкости необходимо определенным образом обрабатывать, помещать в специальные емкости и захоронить таким образом, дабы ликвидировать их проникновение в окружающую среду. К конструкции реакторов предъявляются строгие требования, которые условно могут быть разделены на три группы. К первой можно отнести требования, обусловленные специфическими особенностями ядерных реакторов; ко второй - определяемые назначением реактора, к третьей - общетехнические, однако более высокие по сравнению с требованиями, предъявляемыми к неядерным источникам энергии. Следует выделить основное, определяющее требование при разработке реактора - обеспечение ядерной и радиационной безопасности при любых эксплуатационных и аварийных режимах, то есть должно быть исключено неконтролируемое развитие цепной реакции деления, облучение персонала и заражение окружающей местности выше установленных норм. При проектировании реакторов важен верный выбор материалов с учетом изменения их свойств под воздействием облучения: материалы должны сохранять пластичность и теплопроводность не ниже допустимых пределов, деформация узлов и отдельных деталей не должна превышать заданных ограничений [1, 13, 15].

В зависимости от назначения ядерных реакторов определяющее значение могут иметь разные требования. Так, реакторы АСТ должны быть надежны и экономичны. При их проектировании добиваются минимальных капитальных вложений на единицу мощности и минимальной себестоимости вырабатываемого тепла, удельных показателей в расходе металла и других материалов, и строй размерах и т.д. Одним из ведущих требований к ядерным реакторам является обеспечение надежной безаварийной эксплуатации, собственно, что вполне вероятно при строгом выполнении требований эксплуатационных инструкций по обслуживанию всех систем ЯЭУ и глубоком понимании физико-теплотехнических процессов работы реактора в обычных и аварийных обстановках. Обеспечение ядерной безопасности требует создания таких условий при эксплуатации реактора, которые исключали бы возможность случайного появления и неконтролируемого развития цепной ядерной реакции.

Следует заметить, что в ядерном реакторе не может быть атомного взрыва, который имеет место при взрыве атомной бомбы и сопровождается световым излучением, ударной волной, проникающим радиационным излучением. Значительно раньше, прежде чем выде-

лится достаточное для атомного взрыва количество энергии, реактор сам перейдет в подкритическое состояние вследствие нарушения критической геометрии активной зоны и расплавления тепловыделяющих элементов. Тем не менее при подобной аварии может выделяться огромное количество энергии, которой будет достаточно для быстрого испарения низкотемпературных компонентов активной зоны, в результате чего может произойти резкое повышение давления и разрыв контура с выбросом радиоактивных материалов. Такой взрыв классифицируется как тепловой взрыв реактора.

**Вывод.** В работе рассмотрены характерные особенности существующих отечественных и зарубежных атомных станций энергоснабжения. Атомные станции рассматриваемых типов могут сооружаться в любом географическом месте, в том числе и труднодоступном, так как требуют малого количества топлива, они не загрязняют биосферу, поэтому их можно рассматривать как ближайшее будущее энергетики [6, 11, 12, 14].

#### Библиографический список

1. **Мирам, О.** Теплоснабжение от атомных источников / О. Мирам // Сантехника, отопление, кондиционирование. – 2010. – №7(103). – С.48-49.
2. **Емельянов, И. Я.** Конструирование ядерных реакторов / И.Я. Емельянов и др. – М.: Энергоиздат, 1982.
3. Росатом [Электронный ресурс] // gosatom. – Режим доступа: <http://www.gosatom.ru>.
4. Росатом [Электронный ресурс] // wikipedia. – Режим доступа: [https:// ru. wik ipedia.org/wiki/%d0%a0%d0%be%d1%81%d0%b0%d1%82%d0%be%d0%bc](https://ru.wikipedia.org/wiki/%d0%a0%d0%be%d1%81%d0%b0%d1%82%d0%be%d0%bc).
5. **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.
6. **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.
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. АЭС «Бушер» [Электронный ресурс] // ues-co. – Режим доступа: <http://ues-co.ru/proje ct/aes-busher>.
9. АЭС Торнесс [Электронный ресурс] // wikipedia–Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/%d0%90%d0%ad%d0%a1\\_%d0%a2%d0%be%d1%80%d0%bd%d0%b5%d1%81%d1%81](https://ru.wikipedia.org/wiki/%d0%90%d0%ad%d0%a1_%d0%a2%d0%be%d1%80%d0%bd%d0%b5%d1%81%d1%81).
10. АЭС Эмба́льсе Ату́ча [Электронный ресурс] // wikipedia. – Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/%d0%90%d0%ad%d0%a1\\_%d0%ad%d0%тbc%d0%b1%d0%b0%d0%bb%d1%8c%d1%81%d0%b5](https://ru.wikipedia.org/wiki/%d0%90%d0%ad%d0%a1_%d0%ad%d0%тbc%d0%b1%d0%b0%d0%bb%d1%8c%d1%81%d0%b5)
11. АЭС Тианж [Электронный ресурс] // wikipedia–Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/%d0%90%d0%ad%d0%a1\\_%d0%a2%d0%b8%d0%b0%d0%bd%d0%b6](https://ru.wikipedia.org/wiki/%d0%90%d0%ad%d0%a1_%d0%a2%d0%b8%d0%b0%d0%bd%d0%b6).
12. АЭС Ату́ча [Электронный ресурс] // wikipedia–Режим доступа: [https://ru. wikipe dia.org/wiki/%d0%90%d0%ad%d0%a1\\_%d0%90%d1%82%d1%83%d1%87%d0%b0](https://ru.wikipedia.org/wiki/%d0%90%d0%ad%d0%a1_%d0%90%d1%82%d1%83%d1%87%d0%b0).
13. **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.
14. **Мелькумов, В.Н.** Моделирование структуры инженерных сетей при территориальном планировании города / В.Н. Мелькумов, С.В. Чуйкин, А.М. Папшицкий, К.А. Склярков // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. – 2015. – №2(38). – С.41-48.
15. **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.

#### References

1. **Miram, O.** Teplosnabzhenie ot atomnyh istochnikov / O. Miram // Santehnika, otoplenie, kondicionirovanie. – 2010. – №7(103). – S.48-49.
2. **Emel'janov, I. Ja.** Konstruirovanie jadernyh reaktorov / I.Ja. Emel'janov i dr. – М.: Jenergoizdat, 1982.

3. Rosatom [Jelektronnyj resurs] // rosatom. – Rezhim dostupa: <http://www.rosatom.ru>.
4. Rosatom [Jelektronnyj resurs] // wikipedia. – Rezhim dostupa: [https:// ru. wik ipedia.org /wiki/%d0%a0%d0%be%d1%81%d0%b0%d1%82%d0%be%d0%bc](https://ru.wikipedia.org/wiki/%d0%a0%d0%be%d1%81%d0%b0%d1%82%d0%be%d0%bc).
5. **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.
6. **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.
7. **Muramovich, V. G.** Al'ternativa plavuchim atomnym teplojelektrostancijam / V. G. Muramovich, V. V. Petuhov, D. A. Skorohodov // Mezhdunarodnyj nauchnyj zhurnal Al'ternativnaja jenergetika i jekologija. – 2014. – №18(158). – S.65-69.
8. AJeS «Busher» [Jelektronnyj resurs] // ues-co. – Rezhim dostupa: [http://ues-co.ru/ proje ct/aes-busher](http://ues-co.ru/proje ct/aes-busher).
9. AJeS Torness [Jelektronnyj resurs] // wikipedia. – Rezhim dostupa: [https://ru.wiki pe- dia.org/wiki/%d0%90%d0%ad%d0%a1\\_%d0%a2%d0%be%d1%80%d0%bd%d0%b5%d1%81%d1%81](https://ru.wikipedia.org/wiki/%d0%90%d0%ad%d0%a1_%d0%a2%d0%be%d1%80%d0%bd%d0%b5%d1%81%d1%81).
10. AJeS Jembal'se Atucha [Jelektronnyj resurs] // wikipedia. – Rezhim dostupa: [https:// ru.wikipedia.org/wiki/%d0%90%d0%ad%d0%a1\\_%d0%ad%d0%bc%d0%b1%d0%b0%d0%bb% d1%8c%d1%81%d0%b5](https://ru.wikipedia.org/wiki/%d0%90%d0%ad%d0%a1_%d0%ad%d0%bc%d0%b1%d0%b0%d0%bb%d1%8c%d1%81%d0%b5).
11. AJeS Tianzh [Jelektronnyj resurs] // wikipedia. – Rezhim dostupa: [https://ru.wikipedia. org/wiki/%d0%90%d0%ad%d0%a1\\_%d0%a2%d0%b8%d0%b0%d0%bd%d0%b6](https://ru.wikipedia.org/wiki/%d0%90%d0%ad%d0%a1_%d0%a2%d0%b8%d0%b0%d0%bd%d0%b6).
12. AJeS Atucha [Jelektronnyj resurs] // wikipedia. – Rezhim dostupa: [https://ru. wikiped ia.org/wiki/%d0%90%d0%ad%d0%a1\\_%d0%90%d1%82%d1%83%d1%87%d0%b0](https://ru.wikiped ia.org/wiki/%d0%90%d0%ad%d0%a1_%d0%90%d1%82%d1%83%d1%87%d0%b0).
13. **Mel'kumov, V.N.** Zadacha poiska optimal'noj struktury teplykh 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.
14. **Mel'kumov, V.N.** Modelirovanie struktury inzhenernykh 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.
15. **Mel'kumov, V.N.** Pozharnaja bezopasnost' vzryvoopasnykh pomeshhenij / V.N. Mel'-kumov // Nauchnyj vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Stroitel'stvo i arhitektura. – 2008. – №2. – S.178-183.

## NUCLEAR PLANTS SUPPLY

S. V. Chuikin, S. G. Tulskeya, E. V. Plaksina, D. A. Snisar

*Voronezh state architecturally-building university*

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

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

*E. V. Plaksina, post-graduate student of the Department of heat and gas engineering  
Russia, Voronezh, tel.: +7 (473)271-53-21, e-mail: teplosnab\_kaf@vgasu.vrn.ru*

*D. A. Snisar, student of Dept. of Heat and Gas Supply and oil and gas business  
Russia, Voronezh, tel.: +7 (473)271-53-21, e-mail: romanv2an@gmail.com*

**Statement of the problem.** One of the main tasks of modern power engineering is the efficient use of all natural sources of energy. Due to the trend of saving natural resources is required to increase the energy potential of nuclear sources and to ensure the rational organization of technological and production processes. In this regard, increasing the relevance of studying the existing domestic and foreign nuclear power plants energy supply.

**Results and conclusions.** The characteristics of modern domestic and foreign nuclear power plants, characteristic features and requirements for nuclear reactors. Nuclear power plants can be constructed in any geographical location, including hard to reach because they require a small amount of fuel, they pollute the biosphere, therefore, they can be considered as near future energy.

**Keywords:** energy, nuclear reactor, thermal power, nuclear power.

УДК 699.8

## ОПТИМИЗАЦИЯ СТОИМОСТНОЙ ЦЕЛЕВОЙ ФУНКЦИИ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ТОЛЩИНЫ ИЗОЛЯЦИИ В СИСТЕМАХ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Н. А. Петрикеева, А. В. Копытин, Н. О. Попов

---

*Воронежский государственный архитектурно-строительный университет  
Н. А. Петрикеева, канд. техн. наук, доц., доцент кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела  
Россия, г. Воронеж, тел.: +7(4732)71-53-21, e-mail: petrikeeva.nat@yandex.ru*

*Воронежский государственный университет*

*А. В. Копытин, канд. физ.-мат. наук, доц., доцент кафедры информационных технологий управления  
Россия, г. Воронеж, тел.: +7(4732)71-53-21, e-mail: petrikeeva.nat@yandex.ru*

*Воронежский государственный архитектурно-строительный университет*

*Н. О. Попов, магистрант кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела  
Россия, г. Воронеж, тел.: +7(4732)71-53-21, e-mail: petrikeeva.nat@yandex.ru*

---

**Постановка задачи.** Из-за особенностей структуры и низкого качества применяемых материалов теплозащитные свойства традиционных теплоизоляционных конструкций в процессе эксплуатации резко снижаются, что приводит к потерям теплоты в 2-3 раза превышающих нормативные. В системах с низкими тепловыми плотностями даже нормативные потери в сетях превышают 15-20%.

**Результаты.** Задача технико-экономической оптимизации заключается в определении таких параметров систем, которые для достижения заданного результата требуют наименьшие затраты материальных, энергетических, денежных или других ресурсов. Толщина теплоизоляции, рассчитанная по нормативным потерям с поверхности трубопроводов, не предусматривает изменения теплофизических свойств материала с течением времени, увлажнения материала в процессе эксплуатации, а также не учитывает тарифов на тепловую энергию и стоимость теплоизоляционных материалов. Решение задачи определения оптимальной толщины утеплителя лежит в области экономических расчетов.

**Выводы.** Расчет и выбор конструкции тепловой изоляции тесно связан с экономическим фактором. На величину оптимальной толщины теплоизоляции влияет ряд факторов, как эксплуатационных, таких, как температура теплоносителя, диаметр трубопровода, теплопроводность теплоизоляционного материала и ее изменение в процессе эксплуатации, температура окружающей среды, срок эксплуатации трубопровода, так и экономических, таких, как стоимость материала теплоизоляции, тарифы на тепловую энергию и другие. Перечисленные факторы могут быть эффективно определены только при комплексном расчете.

**Ключевые слова:** тепловая изоляция, теплосети, математическая модель, теплопотери, целевая функция, оптимальная толщина теплоизоляции.

**Введение.** Тепловые сети в России характеризуются высокими потерями тепла, которые составляют 20 - 30 % от отпускаемой теплоты у конечных потребителей, из них в магистральных сетях - 5-7 %, что в несколько раз превышает аналогичный показатель в странах Западной Европы с хорошо развитыми системами теплоснабжения (потери в сетях в этом случае составляют 2-10 %) [1, 2].

В системах с низкими тепловыми плотностями даже нормативные потери в сетях превышают 15-20 %. Низкое качество их эксплуатации приводит к повышенному уровню потерь

---

по сравнению с нормативными еще на 5-35 %. Износ тепловых сетей составляет по отдельным муниципальным образованиям и поселениям 30 - 87 %.

Теплоизоляция трубопроводов систем теплоснабжения производится с целью снизить теплопотери и сделать систему в целом более экономичной. Кроме того, изоляция труб служит для гашения нежелательных шумовых эффектов, неизбежно возникающих в случаях перепада давления внутри труб, а также с целью защиты трубопроводов системы.

Из-за особенностей структуры (например, открытая пористость) и низкого качества применяемых материалов теплозащитные свойства традиционных теплоизоляционных конструкций в процессе эксплуатации резко снижаются, что приводит к потерям теплоты в 2-3 раза превышающих нормативные [3, 4].

Основным способом строительства тепловых сетей в России (82 %) является подземная прокладка в непроходных каналах с использованием минераловатной изоляции. Бесканальная прокладка с изоляцией из армопенобетона и битумосодержащих масс составляет 10 % общей протяженности тепловых сетей. Остальная доля приходится на надземную и наземную прокладку трубопроводов.

**1. Обследование технического состояния теплоизоляционных конструкций.** Высокий уровень потерь в России определяется как избыточной централизацией многих систем теплоснабжения, так и плохим состоянием тепловых сетей и низким качеством их обслуживания.

Исходя из этого, важным направлением является надёжная теплоизоляция трубопроводов, позволяющая до минимума сократить потери тепла через стенки труб в процессе контакта с воздухом или охлаждёнными поверхностями.

Методика обследования технического состояния теплоизоляционных конструкций трубопроводов предусматривает проведение следующего комплекса мероприятий:

1. Геометрические обмеры и визуальное обследование конструкций, обследование защитно-покровного слоя и деталей крепления, выявление повреждений защитного покрытия.

2. Термографирование (инфракрасный контроль) наружной поверхности теплоизоляционных конструкций, выявление участков нарушенной теплоизоляции.

3. Контактные тепловые измерения в характерных точках конструкции с учетом результатов термографирования поверхности теплоизоляции. Определение термического сопротивления в характерных точках конструкции.

4. Расчет фактических теплопотерь магистральных теплопроводов на основе полученных теплотехнических и технологических данных, сопоставление их с нормативными показателями.

5. Технико-экономический анализ результатов обследования, рекомендации по дальнейшей эксплуатации теплоизоляционных конструкций.

Определение фактических теплотехнических характеристик теплоизоляционных конструкций предусматривает контактное измерение плотности теплового потока и температуры поверхности в характерных точках теплоизоляционной конструкции, определяемых с учетом результатов геометрических обмеров и тепловизионного обследования [3,4,5].

Важнейшим направлением реализации программы реконструкции и развития систем теплоснабжения представляется перспективным:

1. Инвентаризация и уточнение баланса нагрузок потребителей и мощностей источников.

2. Консервация или демонтаж избыточных мощностей.

3. Модернизация централизованных систем теплоснабжения с высокой плотностью тепловой нагрузки.

4. Частичная децентрализация систем, находящихся в зоне предельной эффективности централизованного теплоснабжения.

5. Полная децентрализация многих локальных систем теплоснабжения с очень низкой плотностью тепловой нагрузки.

Систематический контроль технического состояния, своевременный ремонт и реконструкция теплоизоляционных конструкций являются рентабельными энергосберегающими мероприятиями, позволяющими существенно сократить расходы по эксплуатации трубопроводов при сравнительно невысоких затратах на реконструкцию тепловой изоляции.

**2. Техничко–экономическая оптимизация толщины теплоизоляционного слоя.** Задача технико–экономической оптимизации заключается в определении таких параметров систем, которые для достижения заданного результата требуют наименьшие затраты материальных, энергетических, денежных или других ресурсов. Толщина теплоизоляции, рассчитанная по нормативным потерям с поверхности трубопроводов, не предусматривает изменения теплофизических свойств материала с течением времени, увлажнения материала в процессе эксплуатации, а также не учитывает тарифов на тепловую энергию и стоимость теплоизоляционных материалов. С точки зрения теплотехники можно определить минимально допустимую толщину теплоизоляции. Дальнейшее решение задачи определения оптимальной толщины утеплителя лежит в области экономических расчетов. Поэтому более эффективным в современных условиях представляется переход к практике гибкого нормирования, учитывающего конъюнктуру цен на тепловую энергию и теплоизоляционные материалы, а также специфику условий эксплуатации теплоизоляционных конструкций, характерных для различных регионов страны.

Критерием оптимизации оптимальной толщины изоляции служит минимальное значение суммарных затрат на тепловую изоляцию и тепловые потери. Цикл реализуется до тех пор, пока каждое предыдущее значение годовых издержек меньше следующего. Как только величина годовых издержек становится больше предыдущей – величина оптимальной толщины изоляции найдена [3, 6, 7].

С ростом толщины изоляции соответственно возрастают издержки на покупку материала теплоизоляции, и уменьшаются издержки на потери теплоты с поверхности трубопроводов. Суммарный график издержек на тепловые потери и покупку материала теплоизоляции имеет минимум, которому соответствует оптимальное значение толщины теплоизоляции.

С увеличением толщины изоляции возрастают затраты в сооружение и эксплуатацию теплоизолированного трубопровода. Вместе с тем, снижаются теплотери, а значит и годовая стоимость теряемой теплоты [3,8,9].

Задача сводится к минимизации функции следующего вида

$$Z=(E_n+\varphi)K_{из}+I_{тп} , \quad (1)$$

где  $E_n$  – коэффициент эффективности кап вложений 1/год;  $\varphi$  – доля годовых отчислений на эксплуатацию тепловой изоляции 1/год;  $K_{из}$  – капитальные вложения в теплоизоляцию 1/год;  $I_{тп}$  – стоимость теплотери, руб/год.

Решение задачи рассмотрим на примере двухтрубного подземного теплопровода при бесканальной прокладке.

Капитальные вложения в тепловую изоляцию  $1m$  двухтрубного теплопровода определяется по формуле

$$K_{из} = 2C_{из} \cdot V_{из} = 2C_{из} \pi (d - \delta_{из}) \delta_{из} , \quad (2)$$

где  $C_{из}$  – удельная стоимость тепловой изоляции «в деле», руб/год;  $V_{из}$  – объем тепловой изоляции, м;  $d$  – диаметр трубопровода, м;  $\delta_{из}$  – толщина тепловой изоляции, м.

Годовая стоимость тепла, теряемого теплопроводом, определяется по формуле

$$I_{т.п} = (q_{п} + q_{о}) \tau C_{т} (1 + \beta), \quad (3)$$

где  $q_{п}$ ,  $q_{о}$  - удельные потери тепла 1 м подающего и обратного трубопроводов тепловой сети, Вт/м;  $C_{т}$  - районные замыкающие затраты на тепловую энергию, руб/(Вт·ч);  $\tau$  - годовая продолжительность эксплуатации тепловой сети, ч/год;  $\beta$  - коэффициент, учитывающий теплотери через неизолированные участки трубопровода.

Удельные теплотери трубопроводами находятся

$$q_{п} = \frac{(t_{п}^{cp} - t_{гр}^{cp})R_{о} - (t_{о}^{cp} - t_{гр}^{cp})R_{инт}}{R_{п}R_{о} - R_{инт}^2}, \quad (4)$$

$$q_{о} = \frac{(t_{о}^{cp} - t_{гр}^{cp})R_{п} - (t_{п}^{cp} - t_{гр}^{cp})R_{инт}}{R_{п}R_{о} - R_{инт}^2}, \quad (5)$$

где  $t_{п}^{cp}$ ,  $t_{о}^{cp}$  - среднегодовая температура теплоносителя в подающей и обратной магистрали, °С;  $t_{гр}^{cp}$  - средняя температура грунта на глубине заложения трубопроводов, принимаются по климатическим справочникам  $t_{гр}^{cp} - 5^{\circ}\text{C}$ ;  $R_{п}$ ,  $R_{о}$  - термическое сопротивления подающего и обратного трубопроводов тепловой сети, (м·К)/Вт;  $R_{инт}$  - дополнительное термическое сопротивление, учитывающее тепловую интерференцию теплопроводов, (м·К)/Вт.

Термические сопротивления трубопроводов определяются по формулам:

$$R_{п} = R_{о} = \frac{1}{2\pi\lambda_{из}} \ln \frac{d + 2\delta_{из}}{d} + \frac{1}{2\pi\lambda_{гр}} \ln \left[ \frac{2h}{d} + \sqrt{\left(\frac{2h}{d}\right)^2 + 1} \right], \quad (6)$$

$$R_{инт} = \frac{1}{2\pi\lambda_{гр}} \ln \sqrt{1 + \left(\frac{2h}{s}\right)^2}, \quad (7)$$

где  $\lambda_{из}$ ,  $\lambda_{гр}$  - теплопроводность теплоизоляции и грунта, Вт/(м·К);  $h$  - глубина заложения трубопровода, м;  $s$  - шаг между трубами, м.

Подставляя вышеприведенные выражения в целевую функцию получим

$$Z = f(\delta_{из}). \quad (8)$$

Задаваясь рядом значений  $\delta_{из1}$ ,  $\delta_{из2}$ , ...,  $\delta_{изn}$  можно вычислить затраты  $Z_1$ ,  $Z_2$ , ...,  $Z_n$ . Условию  $Z = \min$  соответствует оптимальная толщина тепловой изоляции  $\delta_{из} = \delta_{из}^{opt}$ .

**3. Метод определения толщины изоляции, основанный на оптимизации стоимостной целевой функции.** Приведем основные этапы расчета [3].

$$\Phi = \Phi_0 + \Phi_1, \quad (9)$$

где  $\Phi_0 = \Phi_0' + \Phi_{из}$  - капитальные затраты на 1 м теплопровода, руб/м;  $\Phi_{из}$  - затраты на изоляцию;  $\Phi_0'$  - прочие капитальные затраты;  $\Phi_1 = \Phi_1' + \Phi_{т}$  - эксплуатационные затраты на 1 м теплопровода, руб/м;  $\Phi_{т}$  - стоимость потерянной тепловой энергии;  $\Phi_1'$  - прочие эксплуатационные расходы.

$$\left\{ \begin{array}{l} \Phi_{\text{из}} = \frac{\pi}{4} [(d_2 + 2\delta_{\text{из}})^2 - d_2^2] \cdot \Pi_{\text{из}}, \\ \Phi_{\text{T}} = q_1 \cdot T \cdot \Pi_{\text{T}} = \frac{t_{\text{ж}} - t_{\text{н}}}{\frac{1}{2\pi\lambda_{\text{из}}} \cdot \ln \frac{d_2 + 2\delta_{\text{из}}}{d_2}} \cdot T \cdot \Pi_{\text{T}}, \end{array} \right. \quad (10)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \Phi_{\text{T}} = q_1 \cdot T \cdot \Pi_{\text{T}} = \frac{t_{\text{ж}} - t_{\text{н}}}{\frac{1}{2\pi\lambda_{\text{из}}} \cdot \ln \frac{d_2 + 2\delta_{\text{из}}}{d_2}} \cdot T \cdot \Pi_{\text{T}}, \end{array} \right. \quad (11)$$

где  $\Pi_{\text{из}}$  – стоимость изоляции, руб/м<sup>3</sup>;  $\Pi_{\text{T}}$  – стоимость тепловой энергии, руб/Дж;  $T$  – нормативный срок окупаемости, год;  $q_1$  – линейный тепловой поток, Вт/м.

$$q_1 = \frac{t_{\text{ж}} - t_{\text{н}}}{\frac{1}{2\pi\lambda_{\text{из}}} \cdot \ln \frac{d_2 + 2\delta_{\text{из}}}{d_2}}. \quad (12)$$

Вид целевой функции представлен на рисунке [3, 10, 11].

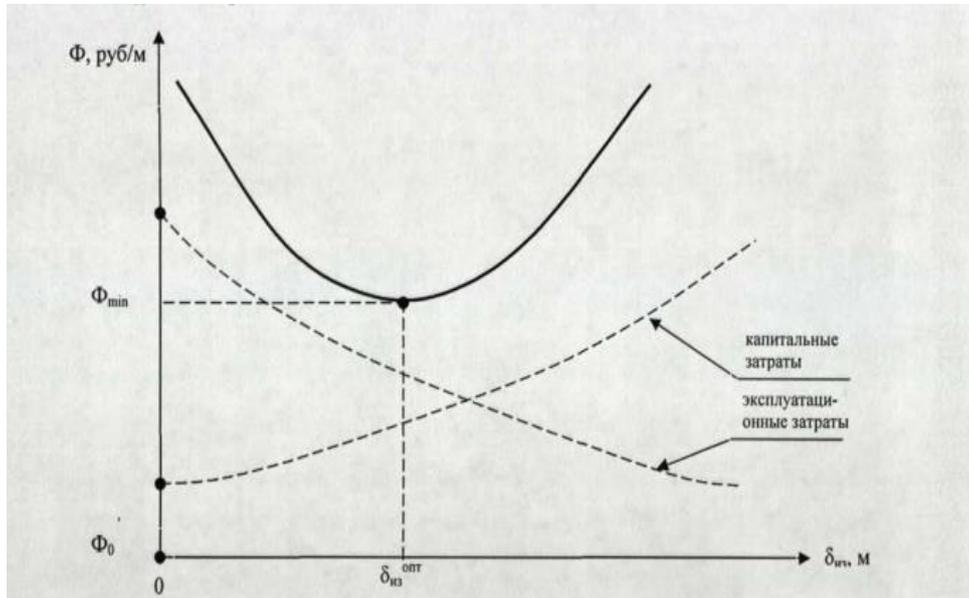


Рис. Вид целевой функции

Составим целевую функцию, в состав которой включается стоимость капитальных затрат плюс стоимость потерь теплоты в процессе эксплуатации в зависимости от толщины изоляции при заданной глубине заложения:

$$\Phi(L, \tau) = \Phi_0 + \Pi_{\text{из}} L \pi \delta_{\text{из}} (2r_1 + \delta_{\text{из}}) + T_{\text{окуп}} L \Pi_{\text{T}} \frac{t_{\text{ж}} - t_{\text{мин}}}{R_1 + R_2}, \quad (13)$$

где  $R_1 = \frac{1}{2\pi\lambda_{\text{тр}}} \ln \frac{2h}{r_1 + \delta_{\text{из}}}$ ,  $R_2 = \frac{1}{2\pi\lambda_{\text{из}}} \ln \frac{r_1 + \delta_{\text{из}}}{r_1}$ .

Используя явные выражения для теплового сопротивления, найдем:

$$R_1 + R_2 = \frac{1}{2\pi} \ln \left\{ \left( \frac{2h}{r_1 + \delta_{\text{из}}} \right)^{\frac{1}{\lambda_{\text{тр}}}} \left( \frac{r_1 + \delta_{\text{из}}}{r_1} \right)^{\frac{1}{\lambda_{\text{из}}}} \right\}$$

или

$$R_1 + R_2 = \frac{1}{2\pi} \ln \left[ (r_1 + \delta_{из})^{\frac{1}{\lambda_{из}} - \frac{1}{\lambda_{гр}}} (2h)^{\frac{1}{\lambda_{гр}}} (r_1)^{-\frac{1}{\lambda_{из}}} \right]. \quad (14)$$

Таким образом, неизвестная толщина изоляции будет определяться решением нелинейного уравнения.

Для определения минимума этой функции необходимо обращение в ноль производной по толщине изоляции, то есть  $\frac{d\Phi}{d\delta_{из}} = 0$ .

Выражение для производной имеет следующий вид:

$$\frac{d\Phi}{d\delta_{из}} = \Pi_{из} L \pi (2r_1 + \delta_{из}) + \Pi_{из} L \pi \delta_{из} - T_{окуп} L \Pi_T (t_{ж} - t_{мин}) \frac{1}{(R_1 + R_2)^2} \left( -\frac{1}{2\pi \lambda_{гр}} \frac{1}{r_1 + \delta_{из}} + \frac{1}{2\pi \lambda_{из}} \frac{1}{r_1 + \delta_{из}} \right)$$

или

$$\frac{d\Phi}{d\delta_{из}} = 2\Pi_{из} L \pi (r_1 + \delta_{из}) - \frac{T_{окуп} L \Pi_T (t_{ж} - t_{мин})}{2\pi (r_1 + \delta_{из})} \frac{1}{(R_1 + R_2)^2} \left( \frac{\lambda_{гр} - \lambda_{из}}{\lambda_{гр} \lambda_{из}} \right). \quad (15)$$

После небольшого упрощения получим:

$$2\Pi_{из} L \pi (r_1 + \delta_{из}) - \frac{T_{окуп} L \Pi_T (t_{ж} - t_{мин})}{2\pi (r_1 + \delta_{из})} \frac{1}{(R_1 + R_2)^2} \left( \frac{\lambda_{гр} - \lambda_{из}}{\lambda_{гр} \lambda_{из}} \right) = 0;$$

$$(r_1 + \delta_{из})^2 = \frac{T_{окуп} \Pi_T (t_{ж} - t_{мин})}{4\pi^2 \Pi_{из}} \frac{1}{(R_1 + R_2)^2} \left( \frac{\lambda_{гр} - \lambda_{из}}{\lambda_{гр} \lambda_{из}} \right);$$

$$(r_1 + \delta_{из})^2 = \frac{T_{окуп} \Pi_T (t_{ж} - t_{мин})}{\Pi_{из}} \frac{1}{\ln^2 \left[ (r_1 + \delta_{из})^{\frac{1}{\lambda_{из}} - \frac{1}{\lambda_{гр}}} (2h)^{\frac{1}{\lambda_{гр}}} (r_1)^{-\frac{1}{\lambda_{из}}} \right]} \left( \frac{\lambda_{гр} - \lambda_{из}}{\lambda_{гр} \lambda_{из}} \right). \quad (16)$$

В результате численного эксперимента источником [3] была установлена зависимость толщины изоляции от диаметра теплопровода и коэффициента теплопроводности теплоизоляции. При расчетах менялись диаметры теплопроводов, коэффициенты теплопроводности и толщина теплоизоляции теплопроводов.

**Выводы.** На величину оптимальной толщины теплоизоляции влияет ряд факторов, как эксплуатационных, таких, как температура теплоносителя, диаметр трубопровода, теплопроводность теплоизоляционного материала и ее изменение в процессе эксплуатации, температура окружающей среды, срок эксплуатации трубопровода, так и экономических, таких, как стоимость материала теплоизоляции, тарифы на тепловую энергию и другие.

В [3] были получены следующие зависимости:

$$q_1^{норм} = \frac{t_T - t_0}{R_1^{из}};$$

$$R_1^{из} = \frac{1}{2\pi \lambda_{из}} \cdot \ln \frac{D_{н.из}}{D_{тр}};$$

$$\frac{D_{\text{н}}^{\text{из}}}{D_{\text{тр}}} = e^{2\pi\lambda_{\text{из}}R_1^{\text{из}}}; 2\pi\lambda_{\text{из}}R_1^{\text{из}} = x;$$

$$\delta_{\text{из}} = \frac{e^x - 1}{2} D_{\text{тр}}.$$

К наиболее эффективным мероприятиям по снижению расходов теплоты при ее транспорте относится устройство тепловой изоляции. Расчет и выбор конструкции тепловой изоляции тесно связан с экономическим фактором. При этом перечисленные факторы могут быть эффективно определены только при комплексном расчете. Приведенные примеры определения толщин изоляции для различных исходных данных, проанализированы в зависимости от технических решений по оптимальной толщине тепловой изоляции, теплопроводности материала, температуры теплоносителя, срока эксплуатации, температуры грунта.

#### Библиографический список

1. **Петрикеева, Н. А.** Определение оптимальной толщины теплоизоляционного слоя трубопроводов систем теплоснабжения/ Н. А. Петрикеева, А. В. Копытин, Н.О. Попов// Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. – Воронеж: Воронежский ГАСУ, 2015. - № 1. - С. 15-23.
2. **Петрикеева, Н. А.** Экологический эффект при полном сгорании топлива в котельных установках/ Н.А. Петрикеева, С.Н. Кузнецов // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. 2013. № 1 (29). - С. 108-113.
3. **Налобин, Н. В.** Оптимизация толщины ППУ-изоляции теплопроводов в системах теплоснабжения объектов на севере Западной Сибири/ диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук// ГОУВПО Тюменский государственный архитектурно-строительный университет. Тюмень, 2007. - 138 с.
4. **Петрикеева, Н. А.** Использование полной теплоты сгорания топлива в котельных установках. Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. – Воронеж: ВГАСУ, 2014. - Т. 2. № 4 (17). - С. 76-80.
5. **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.
6. **Петрикеева, Н. А.** Пути снижения энергопотребления зданиями/ Н. А. Петрикеева, А. Н. Садовников, А.В. Никулин// Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. -2012. - № 1.- С. 13-17.
7. **Петрикеева, Н. А.** Оптимизация систем теплоснабжения зданий с использованием возобновляемых источников энергии/ Н. А. Петрикеева, Л. В. Березкина // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. - 2010. - № 2. - С. 128-132.
8. **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.
9. **Петрикеева, Н. А.** Аккумуляторы теплоты на фазовом переходе/ Н. А. Петрикеева, Е. А. Лавлинская, М.Ю. Зыкова // Научный Вестник Воронежского ГАСУ. Серия : Студент и наука. 2015.- № 8. - С. 227 - 233.

#### References

1. **Petrikeeva, N. A.** Opredelenie optimal'noj tolshhiny teploizoljacionnogo sloja truboprovodov si-stem teplosnabzhenija/ N. A. Petrikeeva, A. V. Kopytin, N.O. Popov// Nauchnyj zhurnal. Inzhenernye sistemy i sooruzhenija. – Voronezh: Voronezhskij GASU, 2015. - № 1. - S. 15-23.
2. **Petrikeeva, N. A.** Jekologicheskij jeffekt pri polnom sgoranii topliva v kotel'nyh ustanovkah/ N.A. Petrikeeva, S.N. Kuznecov // Nauchnyj vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Stroitel'stvo i arhitektura. 2013. № 1 (29). - S. 108-113.
3. **Nalobin, N. V.** Optimizacija tolshhiny PPU-izoljicii teploprovodov v sistemah teplosnabzhenija ob#ektov na severe Zapadnoj Sibiri/ dissertacija na soiskanie uchenoj stepeni kandidata tehniceskikh nauk// GOUVPO Tjumenskij gosudarstvennyj arhitekturno-stroitel'nyj universitet. Tjumen', 2007. - 138 s.
4. **Petrikeeva, N. A.** Ispol'zovanie polnoj teploty sgoranija topliva v kotel'nyh ustanovkah. Nauch-nyj zhurnal. Inzhenernye sistemy i sooruzhenija. – Voronezh: VGASU, 2014. - Т. 2. № 4 (17). - S. 76-80.

5. **Petrikeeva, N. A.** Jekonomicheski celesoobraznyj uroven' teplozashhity zdaniy pri rabote sistem teplogaz-osnabzhenija i ventiljacii / N.A. Petrikeeva, O.V. Tjuleneva, N.N. Kucherov// Nauchnyj zhurnal. Inzhe-nernye sistemy i sooruzhenija. – Voronezh: VGASU, 2012. – № 1. - S. 9-12.

6. **Petrikeeva, N. A.** Puti snizhenija jenergopotreblenija zdanijami/ N. A. Petrikeeva, A. N. Sadovnikov, A.V. Nikulin// Nauchnyj zhurnal. Inzhenernye sistemy i sooruzhenija. -2012. - № 1.- S. 13-17.

7. **Petrikeeva, N. A.** Optimizacija sistem teplosnabzhenija zdaniy s ispol'zovaniem vozobnovljaemyh istochnikov jenergii/ N. A. Petrikeeva, L. V. Berezkina // Nauchnyj zhurnal. Inzhenernye sistemy i sooruzhenija. - 2010. - № 2. - S. 128-132.

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

9. **Petrikeeva, N. A.** Akkumuljatory teploty na fazovom perehode/ N. A. Petrikeeva E. A. Lavlinskaja, M.Ju. Zykova // Nauchnyj Vestnik Voronezhskogo GASU. Serija : Student i nauka. 2015.- № 8. - S. 227 - 233.

## OPTIMIZATION OF COST CRITERION FUNCTION AT DETERMINATION OF THICKNESS OF ISOLATION IN SYSTEMS OF HEAT SUPPLY

N. A. Petrikeeva, A. V. Kopytin, N. O. Popov

---

*Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering*

*N. A. Petrikeeva, Ph. D. in Engineering, Assoc. Prof. of Dept. of Heat and Gas Supply and Oil and Gas Business  
Russia, Voronezh, ph. +7(4732)71-53-21, e-mail: petrikeeva.nat@yandex.ru*

*Voronezh State University*

*A. V. Kopytin , Ph. D. of Physical and Mathematical Sciences, Assoc. Prof. of Dept. of Information Technologies of  
Management*

*Russia, Voronezh, tel.:+7(4732)71-53-21, e-mail: petrikeeva.nat@yandex.ru*

*Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering*

*N. O. Popov, Master of Dept. of Heat and Gas Supply and Oil and Gas Business*

*Russia, Voronezh, tel.:+7(4732)71-53-21, e-mail: petrikeeva.nat@yandex.ru*

---

**Statement of the problem.** Because of features of structure and poor quality of the applied materials heat-shielding properties of traditional heat-insulating designs in use sharply decrease that leads to losses of warmth by 2-3 times exceeding the standard. In systems with low thermal density even standard losses in networks exceed 15-20 %.

**Results.** The problem of technical and economic optimization consists in determination of such parameters of systems which for achievement of the set result demand the smallest expenses of material, energy, monetary or other resources. The thermal insulation thickness calculated on standard losses from a surface of pipelines doesn't provide change of heatphysical properties of material eventually, material moistening in use, and also doesn't consider tariffs for thermal energy and cost of heat-insulating materials. The solution of a problem of determination of optimum thickness of a heater lies in the field of economic calculations.

**Conclusions.** Calculation and a choice of a design of thermal isolation is closely connected with economic factor. The size of optimum thickness of thermal insulation is influenced by a number of factors, as operational, such as heat carrier temperature, diameter of the pipeline, heat conductivity of heat-insulating material and its change in use, the ambient temperature, term of operation of the pipeline, and economic, such as thermal insulation material cost, tariffs for thermal energy and others. The listed factors can be effectively defined only at complex calculation.

**Keywords:** thermal isolation, heating systems, mathematical model, heatlosses, criterion function, optimum thickness of insulation.

УДК 621.311

## ФИЗИЧЕСКИЕ И БИО-ХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ПРИ ПЕРЕРАБОТКЕ МУСОРА

А. А. Прокопенко, А. В. Козлов, Г. Н. Мартыненко

---

*Воронежский государственный архитектурно-строительный университет*

*А. А. Прокопенко, студентка кафедры теплогасоснабжения и нефтегазового дела  
Россия, г. Воронеж, тел. +7(950)-763-18-21, e-mail: prokopenko\_nastyusha15@mail.ru*

*А. В. Козлов, студент кафедры теплогасоснабжения и нефтегазового дела  
Россия, г. Воронеж, тел.: +7(980)-546-93-24, e-mail: alexkozlov1995@gmail.com*

*Г. Н. Мартыненко, канд. техн. наук, доц. кафедры теплогасоснабжения и нефтегазового дела.  
Россия, г. Воронеж, тел. +7(903)-651-32-29, e-mail: glen2009@rambler.ru*

---

**Постановка задачи.** Рассмотрение механизмов превращения органических веществ, главным образом, отходов сельскохозяйственной деятельности, в биологический газ (анаэробное брожение) и особенности этого производственного процесса. Рассмотрение рекомендаций по технологии получения биологического газа, в особенности в отношении факторов и взаимосвязей, характеризующих процесс получения газа, и по определяемым ими предпосылкам для выработки биологического газа из растительных остатков и отходов сельскохозяйственного производства. Рассмотрение преимуществ и недостатков биологического газа. Рассмотрен вопрос о влиянии его на окружающую среду, в особенности, о предотвращении глобального потепления. Описание опыта переработки мусора в биологический газ в зарубежных странах.

**Результаты.** Рассмотрена сущность процессов, происходящих при выделении метана, и особенности технологии получения биологического газа. Продемонстрирована необходимость замены природного газа биологическим.

**Выводы.** Биогаз – одна из немногих альтернатив природного газа, и его использование может решить проблему дефицита последнего. Использование биогаза также решает некоторые экологические проблемы.

**Ключевые слова:** биогаз, анаэробное брожение, природный газ, шлам.

**Введение.** Запасы природного газа далеко не безграничны, и ученые уже давно задумываются над альтернативными его источниками. В ряде стран ощущается нехватка этого вида топлива. К тому же, добыча природного газа из недр Земли пагубно воздействует на окружающую среду. В этой связи, большое внимание привлекают к себе нетрадиционные источники энергии. Одним из таких источников является биогаз. Биогаз - газ, получаемый водородным или метановым брожением биомассы. Биогаз образуется в результате разложения органических соединений (белки, жиры, углеводы) животного и растительного происхождения. Основным горючим компонентом биогаза является метан, он же является основным его компонентом. Биометан аналогичен природному газу и отличается от последнего лишь способом получения. Судя по всему, людей больше всего беспокоит проблема запаха. Но современные технологии позволяют получать биогаз, который ничем не отличается от природного газа. Биологический газ получают с помощью анаэробных бактерий – подобный процесс образования газов и, прежде всего метана, широко распространен в природе. Например, в болотах, где существует недостаток кислорода и различные органические вещества. В любом месте есть много материала для получения биогаза, но пока что всё это отправляется на свалку. На свалках пищевые отходы в процессе разложения выделяют большое количество метана, а это приводит к созданию парникового эффекта (метан оказывает

---

влияние на парниковый эффект в 21 раз более сильное, чем углекислый газ, и находится в атмосфере 12 лет). Достоинством биогаза является то, что, если его получают в результате разложения органических материалов, выделяется гораздо меньше двуокиси углерода, нежели выделяют традиционные виды ископаемого топлива. На практике наиболее перспективными материалами для получения биогаза на сегодняшний день являются: навоз и пищевые отходы. Так, в США (г. Нью-Йорк) с прошлого года официально запретили вывоз пищевых отходов на свалки: теперь объёмки перерабатываются в биогаз, который идёт на обогрев домов. По статистике, от 30 до 70 % мусора в американских ресторанах - это пищевые отходы. Сегодня популярной идеей является использование газа, полученного из отходов человеческой жизнедеятельности. Весь процесс от момента слива бачка до зажигания газовой горелки занимает всего 23 дня. Канализация способна стать стабильным источником поставок газа. Поэтому специалисты отрасли говорят: «Пора отказаться от предрассудков и открыть дорогу новым технологиям».

Подобная практика широко распространена в Великобритании. Так, например, в г. Оксфордшир все дома полностью перешли на отопление газом, полученным из собственных канализационных отходов. Власти Великобритании намереваются ввести такую практику по всей стране. Биогаз как нетрадиционный источник энергии решает проблему обеззараживания и утилизации огромных масс навозных стоков животноводческих ферм и комплексов, имеющую важнейшее природоохранное значение. Несмотря на все свои достоинства, биогаз имеет некоторые недостатки, которые необходимо предотвращать. Важно предотвращать загрязнения воздушного и водного бассейнов, почвы и посевов благодаря утилизации и дезодорации навозных стоков крупных животноводческих ферм и комплексов, получению обеззараженных высокоэффективных органических удобрений. Сам процесс производства биогаза является достаточно взрывоопасным производством. Некоторые страны специально выращивают определённые культуры для производства биогаза, тем самым истощая землю и не используя полученный урожай по его прямому назначению. Так, в Бразилии, которая производит 32% мирового биотоплива, вырубается леса, с той целью, чтобы посадить на их месте пальмы, сою или кукурузу.

**1. Особенности процесса.** Анаэробное брожение (метановое брожение) – процесс биодеструкции органических веществ с выделением свободного метана. Существует три этапа анаэробного сбраживания органических веществ путём биохимического расщепления [1]:

1) Гидролиз. Происходит разложение высокомолекулярных соединений (белков, жиров, углеводов) на низкомолекулярные органические соединения (аминокислоты, сахара, жирные кислоты). Протекает под воздействием ацетогенных бактерий.

2) Образование кислот. Дальнейшее разложение с образованием органических кислот и их солей, спиртов, углекислого газа ( $\text{CO}_2$ ) и водорода ( $\text{H}_2$ ), а затем сероводорода ( $\text{H}_2\text{S}$ ) и оксида азота ( $\text{NO}_3$ ) с участием кислотообразующих бактерий. Происходит гидролизное окисление части простейших органических соединений под воздействием гетероацетогенных бактерий, в результате которой получается ацетат, диоксид углерода и свободный водород. Другая часть органических соединений с полученным на 2 этапе ацетатом образует C1 соединения (простейшие органические кислоты). Полученные вещества являются питательной средой для метанобразующих бактерий 3 этапа.

3) Образование метана. Получение метана и углекислого газа, плюс дополнительное образование метана из углекислого газа и водорода. Этап протекает по двум процессам, вызванным различными группами бактерий. Эти две группы бактерий преобразуют питательные соединения второго этапа в метан ( $\text{CH}_4$ ), воду ( $\text{H}_2\text{O}$ ), диоксид углерода ( $\text{CO}_2$ ).

Процесс анаэробного брожения (рис.) происходит в бактериальной биомассе и включает конверсию сложных органических соединений - полисахаров, жиров и белков в метан  $\text{CH}_4$  и оксид углерода  $\text{CO}$ .

На каждом этапе виды бактерий будут различными. Они различаются по пищевым потребностям (см. рис.):

- 1) гидролизные (ацетогенные) - протеолитические, целлюлолитические, облигатные анаэробы, факультативные анаэробы;
- 2) гомоацетатные;
- 3) метаногенные - хемолитотрофные бактерии 3 стадии, перерабатывающие оксид углерода и водород на метан и воду стадия А, и бактерии стадии В - ниткоподобные палочки, коки и ланцетоподобные, которые перерабатывают муравьиную и уксусную кислоты а также метанол на метан и оксид углерода. Размножаются метаногены очень медленно и проявляют повышенную чувствительность к изменениям окружающей среды.

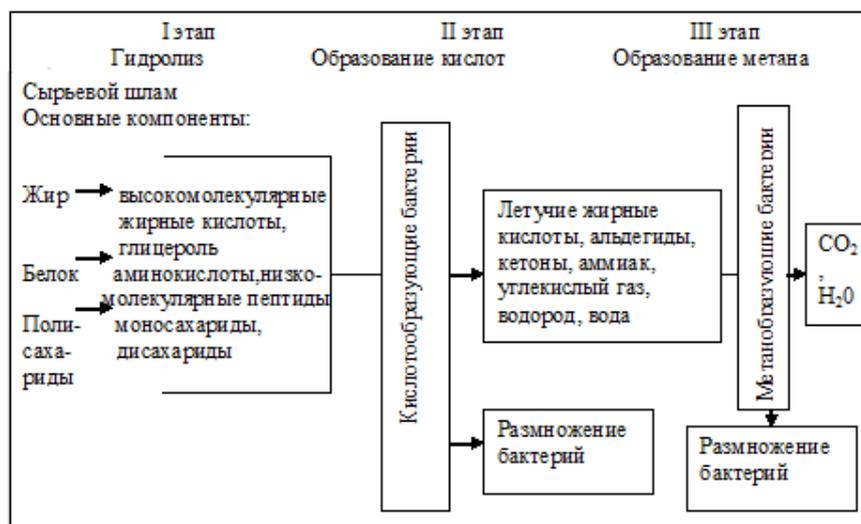
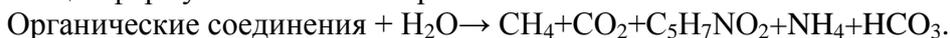


Рис. Этапы процесса анаэробного брожения

Каждая из этих групп бактерий питается продуктами жизнедеятельности, образующимися в процессе работы предыдущей группы бактерий. Все эти бактерии содержатся в шламе и, в связи с этим, не требуется специального насаждения бактерий в установки. Требуется лишь создать и поддерживать оптимальные условия для развития процесса брожения.

Общая формула метанового брожения:



В зависимости от состава раствора биомассы и вида бактерий, в биологическом реакторе будет происходить изменение значений pH, температуры и редокс-потенциала среды.

**2. Факторы, влияющие на процесс брожения.** Факторами, влияющими на процесс брожения являются:

- 1) температура;
- 2) влажность среды;
- 3) уровень pH;
- 4) соотношение C:H:O:N;
- 5) площадь поверхности частиц сырья;
- 6) частота подачи субстрата;
- 7) ингибиторы;
- 8) катализаторы.

Температура влияет на объём и качество газа (при увеличении температуры понижается концентрация метана), а также на технологическое время процесса брожения. Микробиологическая активность возможна при температуре от 15 до 54 °С. К перепадам температуры микроорганизмы очень чувствительны, и они всегда реагируют на него снижением активности. Ингибиторы - тяжёлые металлы и их соли, щелочные и щёлочноземельные металлы, аммиак, нитраты, сульфиды, детергенты, органические растворители, антибиотики.

Соотношение С:Н:О:N - в исходном материале из жиров получается наибольший выход газа, затем идут белки, а затем углеводы. Средний состав газа, который можно получить из экскрементов животных при оптимальной температуре брожения 34 °С соответствует соотношению  $\text{CH}_4/\text{CO}_2=2$ .

**3. Влияние исходного материала на выход газа.** Наиболее подходящим материалом для производства биогаза являются экскременты животных, однако они различаются по химическому составу из-за вида животного, корма, количества воды, остатков корма, остатков подстилочного материала.

Для получения биологического газа наиболее подходят экскременты кур и свиней, нежели других животных. Всё дело в содержании лигнина, который в больших количествах содержится в экскрементах жвачных животных, и который практически не разлагается микробами.

Твердые вещества должны быть максимально измельченными с помощью режущих, разрывающих, плющильных устройств. Концентрация твёрдых частиц не должна превышать 12 % от общего объёма смеси, а их длина должна быть не более 30 мм. Твёрдые вещества образуют осадок (седиментацию) или плавающую корку, чему способствует флотация. Этого можно избежать, если своевременно отделить высокоплотные вещества от субстрата с помощью механического сепаратора. Однако это приводит к соответствующему уменьшению выхода газа.

Практически достижимый выход газа зависит от многих факторов, влияние которых может быть самым различным. Из-за разнообразия состава субстрата максимальный выход газа из различных сельскохозяйственных отходов, остатков и их смесей будет различным. В реакторе разлагается лишь 40-50 % всей закладываемой в него органической массы. Соотношение количеств газа, которые могут быть выделены из органического вещества жидкого навоза дойных коров, бычков на откорме, свиней и кур в процессе брожения при температуре 33 °С, в первом приближении можно принять равным 5 : 7 : 8 : 10. Для различных органических материалов требуется различная продолжительность процесса брожения, причём выход газа в единицу времени в единицу времени сначала резко увеличивается, а затем по достижению максимума постепенно уменьшается. Трава, которая содержит много белков, имеет более высокую скорость реакции и больший выход газа, чем солома и экскременты откармливаемых бычков, которые из-за значительной доли лигнина сбраживаются гораздо медленнее и выделяют меньшее количество газа. Количество биологического газа, вырабатываемого с одной тонны свежего субстрата, колеблется в пределах от  $50 \text{ нм}^3/\text{Т}_{\text{субстрата}}$  до  $270 \text{ нм}^3/\text{Т}_{\text{субстрата}}$ . Выход метана в соответствии с содержанием  $\text{CH}_4$  в биогазе находится в пределах от 28 до  $141 \text{ нм}^3\text{CH}_4/\text{Т}_{\text{субстрата}}$ . Значение выхода метана можно использовать в качестве критерия эффективности использования субстрата. Также существенное значение имеют:

1) Загрузка рабочего пространства (количество загружаемой органической массы, приходящейся на единицу времени и единицу чистого объёма реактора). Количество органического вещества, которое добавляется в единицу времени к находящемуся в реакторе субстрату, должно соответствовать уже разложившемуся к данному моменту количеству органического вещества. Если увеличить партии массы, то получится менее разложившийся субстрат и меньший выход газа. При уменьшении партий массы ухудшается использование рабочего объёма реактора. Если реактор заполнять слишком быстро, то нарушается соотношение между имеющимся количеством активных бактерий и массой питательных веществ, вследствие чего обмен веществ также не может протекать оптимальным образом, и соответственно выделяется меньше газа в единицу времени и на единицу массы органического вещества. Загрузка реактора должна быть тем ниже, чем выше доля способных к разложению веществ в закладываемой в него органической массе и чем больше в ней аммиака.

2) Технологическое время цикла брожения (время пребывания в реакторе закладываемой в него органической массы). Продолжительность пребывания массы в реакторе зависит

от скорости реакции и от заданной степени разложения. С увеличением времени брожения увеличивается содержание метана в общем объеме выделяющегося газа и одновременно уменьшается содержание углекислого газа, что означает улучшение качества получаемого газа.

3) Интенсивность перемешивания. Функции интенсивного перемешивания:

- 1) способствует равномерному распределению питательных веществ в объеме реактора;
- 2) препятствует образованию осадка и плавающей корки;
- 3) обеспечивает перемещение массы в реакторе;
- 4) достигается контакт бактерий с субстратом;
- 5) затрудняется накапливание промежуточных и конечных продуктов процесса разложения.

Основными компонентами биогаза являются метан, углекислый газ. В незначительных количествах в биологическом газе содержится водород, сероводород и азот.

Шлам можно использовать в качестве удобрения. Соединения фосфора и калия, а также выделяющийся аммиак преобразуют перебродившую массу в богатое питательными веществами органическое удобрение.

Сжижение биологического газа практически нецелесообразно. Необходимо учитывать разность в плотности отдельных его компонентов. В проходных неветилируемых помещениях может накопиться опасное содержание углекислого газа ( $\text{CO}_2$ ) и сероводорода ( $\text{H}_2\text{S}$ ) в нижних слоях воздуха. Накопление метана ( $\text{CH}_4$ ) взрывоопасно.

**4. Загрязнение окружающей среды.** Шлам лишён запаха, который присутствует в исходном субстрате. Всё дело в том, что степень сбраживания составляет 30 % - 40 %, и из-за этого происходит распад биологически нестабильных органических соединений. Гигиенический эффект анаэробного брожения обуславливается, прежде всего, температурным воздействием в течение определённого промежутка времени. Чтобы уничтожить болезнетворные микроорганизмы, необходима определённая минимальная температура и минимальное время их пребывания при данной температуре. Гарантированное время, по истечению которого все болезнетворные микроорганизмы будут уничтожены при температуре брожения около 30 °С - более тридцати суток. Более эффективное уничтожение вегетативных форм бактериальных возбудителей инфекционных заболеваний в течение меньшего срока пребывания массы в реакторе, а именно, от 12 до 20 суток достигается только при температуре брожения выше 50 °С. Но незначительное количество микробов может выжить, и, тем самым, стать источником инфекций.

**Выводы.** Внедрение биогазовых установок является перспективной задачей по следующим причинам:

- 1) получать биогаз можно из любых органических веществ:
  - а) можно использовать мусор, который обычно отправляется на свалку;
  - б) практически в любом месте есть материалы, для получения биогаза.
- 2) не бесконечные запасы полезных ископаемых;
- 3) замена природного газа биологическим частично решит экологические проблемы, в частности проблему глобального потепления;
- 4) есть возможность получать удобрения из перебродившего субстрата;
- 5) экономическим.

#### Библиографический список

1. **Баадер, В.** Биогаз: теория и практика / В. Баадер, Е. Доне, Бренндерфер М. - М. Колос, 1982 – 148 с.
2. **Миндубаев, А.** Разработка новой технологии производства биогаза из отходов сельского хозяйства и пищевой промышленности / А. Миндубаев // Инженер. – 2009. – № 11. – С. 18-19.
3. **Чудинов, Д. М.** Разработка алгоритма обоснования структуры энергокомплекса на базе возобновляемых источников энергии / Д. М. Чудинов, К. Н. Сотникова, М. Ю. Морозов, С. В. Чуйкин // Инженерные системы и сооружения. – 2009. - № 1. – С. 147-154.
4. **Лукьяненко, В. И.** Проблема и способы утилизации мусорных отходов за рубежом и в России. Физико-технические проблемы энергетики, экологии и энергоресурсосбережения / В. И. Лукьяненко, В. В. Олейни-

ков, Н. В. Малых, Г. Н. Мартыненко // Труды научно технической конференции молодых учёных аспирантов и студентов. – Воронеж: ВГТУ, 2011. Вып. 13. С. 150 – 156

5. **Лукьяненко, В. И.** Перспективность использования биогазовых установок. Физико-технические проблемы энергетики, экологии и энергоресурсосбережения / В. И. Лукьяненко, Е. А. Балобанова, Г. Н. Мартыненко // Труды научно технической конференции молодых учёных аспирантов и студентов. – Воронеж: ВГТУ, 2013. Вып. 15. С. 65 – 71

6. **Прокопенко, А. А.** Аспекты экономичного расходования ресурсов на примере применяемых биогазовых установок / А.А. Прокопенко, А.В. Козлов, Г.Н. Мартыненко / Инженерные системы и сооружения. – 2016. - № 1(2). – С. 9-15.

#### References

1. **Baader, V.** Biogaz: teorija i praktika / V. Baader, E. Done, Brennderfer M. - M. Kolos, 1982 – 148 s.

2. **Mindubaev, A.** Razrabotka novej tehnologii proizvodstva biogaza iz othodov sel'skogo hozjajstva i pishhevoj promyshlennosti / A. Mindubaev // Inzhener. – 2009. – № 11. – С. 18-19.

3. **Chudinov, D. M.** Razrabotka algoritma obosnovanija struktury jenergokompleksa na baze vozobnovljajemyh istochnikov jenerгии / D. M. Chudinov, K. N. Sotnikova, M. Ju. Morozov, S. V. Chujkin // Inzhenernye sistemy i sooruzhenija. – 2009. - № 1. – С. 147-154.

4. **Luk'janenko, V. I.** Problema i sposoby utilizacii musornyh othodov za rubezhom i v Rossii. Fizi-ko-tehnicheskie problemy jenergetiki, jekologii i jenergoresursoberezenija / V. I. Luk'janenko, V. V. Olejni-kov, N. V. Malyh, G. N. Martynenko // Trudy nauchno tehnicheskoi konferencii molodyh uchjonyh aspirantov i studentov. – Voronezh: VGTU, 2011. Vyp. 13. S. 150 – 156

5. **Luk'janenko, V. I.** Perspektivnost' ispol'zovanija biogazovyh ustanovok. Fizi-ko-tehnicheskie problemy jenergetiki, jekologii i jenergoresursoberezenija / V. I. Luk'janenko, E. A. Balobanova, G. N. Martynenko // Trudy nauchno tehnicheskoi konferencii molodyh uchjonyh aspirantov i studentov. – Voronezh: VGTU, 2013. Vyp. 15. S. 65 – 71

6. **Prokopenko, A. A.** Aspekty jekonomichnogo rashodovanija resursov na primere primenjaemyh biogazovyh ustanovok / A.A. Prokopenko, A.V. Kozlov, G.N. Martynenko / Inzhenernye sistemy i sooruzhenija. – 2016. - № 1(2). – С. 9-15.

## PHYSICAL AND BIO-CHEMICAL PROCESSES AT WASTE RECYCLING

A. A. Prokopenko, A. V. Kozlov, G. N. Martynenko

*Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering*

*A. A. Prokopenko, student of Dept. of Heat and Gas Supply and oil and gas business*

*Russia, Voronezh, tel.: +7(950)-763-18-21, e-mail: prokopenko\_nastyusha@mail.ru*

*A. V. Kozlov, student of Dept. of Heat and Gas Supply and oil and gas business*

*Russia, Voronezh, tel.: +7(980)-546-93-24, e-mail: alexkozlov1995@gmail.com*

*G. N. Martynenko PhD in Engineering, Ph. D. as. of Dept. of Heat and Gas Supply and oil and gas business*

*Russia, Voronezh, tel.: +7(903)-651-32-29, email address: glen2009@rambler.ru*

**Statement of the problem.** Examination of the mechanisms of transformation of organic substances, mainly waste agricultural activity in a biological gas (anaerobic digestion) and the characteristics of this production process. Consideration of recommendations for obtaining biogas technology, particularly in respect of factors and inter-relationships describing the process of obtaining gas and assumptions determined by them to produce biogas from plant residues and agricultural waste. Consideration of the advantages and disadvantages of the biological gas. The question of its effect on the environment, in particular on the prevention of global warming. Description of experience in the processing of waste biogas in foreign countries.

**Results.** The essence of the processes taking place in the allocation of methane, and especially the technology of biogas. It demonstrated the need to replace natural gas biological.

**Conclusions.** Biogas - one of the few alternatives to natural gas, and its use can resolve the latter problem of deficiency. Using biogas also solves some of the environmental problems.

**Keywords:** biogas, anaerobic digestion, natural gas, sludge.

УДК 621.1.016

## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ СИСТЕМЫ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ПУТЕМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НИЗКОПОТЕНЦИАЛЬНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

Л. А. Кущев, И. В. Волабуев, Т. Ю. Андреева

---

*Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова*

*Л. А. Кущев, д-р техн. наук, проф. кафедры теплогазоснабжения и вентиляции*

*Россия, г. Белгород, тел.: +7(4722)55-94-38; e-mail: asi@intbel.ru*

*И. В. Волабуев, инженер кафедры теплогазоснабжения и вентиляции*

*Россия, г. Белгород, тел.: +7(4722)55-94-38; e-mail: asi@intbel.ru*

*Т. Ю. Андреева, бакалавр кафедры теплогазоснабжения и вентиляции*

*Россия, г. Белгород, тел.: +7(4722)55-94-38; e-mail: asi@intbel.ru*

---

**Постановка задачи.** С повышением экологической культуры возникает необходимость сокращения потребления ископаемых видов топлива. В связи с этим становится актуальной задача повышения эффективности систем централизованного теплоснабжения.

**Результаты.** Рассмотрен оригинальный способ утилизации низкпотенциальной энергии сбросного тепла теплоэлектроцентрали. Для этого применяется теплонасосная установка.

**Выводы.** При применении теплонасосной установки достигается экономия топлива – природного газа и улучшение экологической обстановки водного бассейна реки Северский Донец.

**Ключевые слова:** системы теплоснабжения, когенерация, тепловая энергия, теплонасосные установки, низкпотенциальная энергия, «пиковая» котельная, органическое топливо, газ, ресурсосбережение, вода, экология.

**Введение.** Высокоэффективные способы выработки энергии принимают особое значение. Традиционное раздельное производство электрической и тепловой энергии в наше время утратило свою актуальность, как малоэффективная технология, ведущая к значительной потере энергии с теплом отходящих газов.

Теплоснабжение является важной под отраслью жилищно-коммунального хозяйства России. В нашей стране эксплуатируются около 400 теплоэлектроцентралей разных типов суммарной мощностью более 160 тыс. МВт [1]. Теплоэлектроцентрали стали основным типом технологического оборудования, используемого для получения тепловой энергии. Так как принцип работы ТЭЦ основан на явлении когенерации, то при этом производится значительное количество электрической энергии.

Централизованные системы теплоснабжения широко распространены в больших городах – мегаполисах, хотя все активнее применяются децентрализованные системы теплоснабжения в связи с развитием индивидуального жилищного строительства.

Системы централизованного теплоснабжения имеют ряд преимуществ:

- вывод взрывоопасного технологического оборудования из жилых микрорайонов;
  - точечная концентрация вредных выбросов на источниках тепла, где с ними можно эффективно бороться;
  - возможность использования различных видов топлива, включая древесину, а также возобновляемые энергоресурсы;
-

– замещение простого сжигания топлива (при температуре 1500-2000 °С для подогрева воздуха до 20 °С) тепловыми отходами производственных циклов, в первую очередь теплового цикла производства электроэнергии на ТЭЦ;

– относительно гораздо более высокий электрический КПД крупных ТЭЦ и тепловой КПД крупных котельных работающих на твердом топливе.

**1. Использование низкопотенциальных источников энергии.** Затраты топлива на теплоснабжение колоссальны. Только на перекачку сетевой воды в системах централизованного теплоснабжения необходимо около 50 млрд кВт·ч электроэнергии в год; а с учетом расхода электроэнергии в тепловых пунктах и на прямой электрообогрев; расхода природного газа и жидких углеводородов на местный обогрев жилищ; общие затраты органического топлива на теплоснабжение составляют более 40 % от всего используемого в стране, т.е. почти столько же, сколько тратится на все остальные отрасли промышленности, транспорт и т.д. вместе взятые. Потребление топлива теплоснабжением сопоставимо со всем топливным экспортом страны [2, 3].

Таким образом, можно отметить, что энерго- и ресурсосбережение при выработке и подаче теплоты является весьма актуальной проблемой. Использование ТЭЦ позволяет добиться экономии за счет выработки как тепловой, так и электрической энергии. Однако существенным недостатком применения ТЭЦ является то, что в «ночное» время потребление электроэнергии значительно снижается. В этом случае часть электроэнергии приходится отводить «пиковой» котельной, питающей систему теплоснабжения. Это значительно усложняет систему подачи теплоты потребителям (рис.1).



**Рис. 1.** Схема работы централизованной системы теплоснабжения в «ночное время»:

1 – теплоэлектроцентраль; 2 – «пиковая» котельная

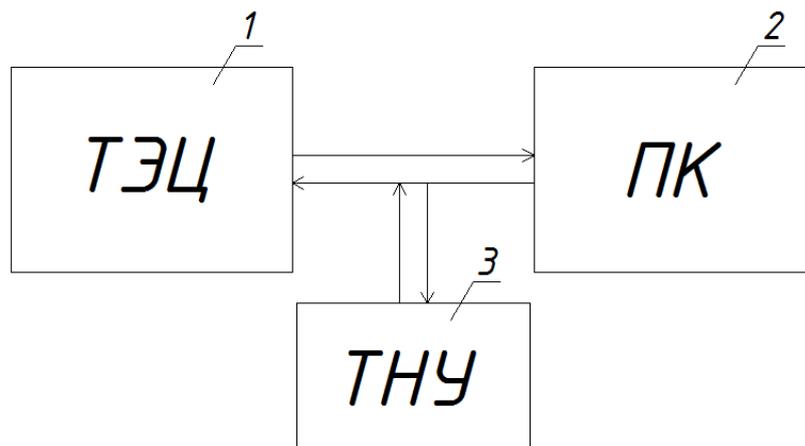
При комбинированном производстве тепловой и электрической энергии возникает проблема утилизации низкопотенциального тепла, которое, как правило, просто сбрасывается в окружающую среду, нанося вред экологии. Все затраченные энергоресурсы на подогрев энергоносителя в ходе технологического процесса безвозвратно пропадают. Представляется целесообразным использовать низкопотенциальную тепловую энергию путем применения теплонасосных установок (ТНУ). Этим достигается полезное использование теплоты сбросной воды.

Тепловой насос «перекачивает» низкопотенциальное тепло на более высокий уровень и дает возможность использовать его в целях отопления и нагрева воды вместо «пиковой» котельной. ТНУ являются агрегатами, способными внести существенный вклад в экономию ресурсов. Повышение потенциала (температуры) низкопотенциального тепла осуществляется за счет использования энергии сбросной воды ТЭЦ, которую ранее нельзя было использовать из-за ее низкой температуры. Тепловой насос существенно расширяет возможности применения низкопотенциальной энергии за счет затраты некоторой доли энергии, полностью превращаемой в работу [4].

Схема данного технического решения представлена на рис. 2.

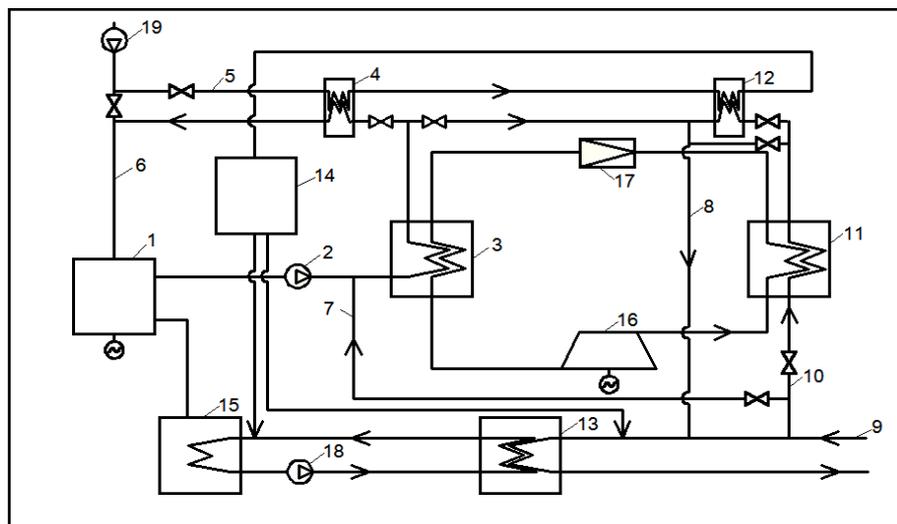
На кафедре теплогазоснабжения и вентиляции Белгородского государственного технологического университет имени В.Г. Шухова разработана оригинальная схема использования

теплоты охлаждающей воды в теплонасосной установке (ТНУ) для «Белгородской» газотурбинной теплоэлектроцентрали ГТУ-ТЭЦ, которая является одним из основных источников тепловой и электрической энергии для г. Белгорода. Данная разработка подтверждена патентом РФ «Маневренная газотурбинная теплоэлектроцентраль» № 89621 [5].



**Рис. 2.** Схема работы централизованной системы теплоснабжения в «ночное время» с использованием ТНУ: 1 – теплоэлектроцентраль; 2 – «пиковая» котельная; 3 – теплонасосная установка

Принципиальная схема системы с использованием теплоты охлаждающей воды ГТУ в испарителе ТНУ приведена на рисунке 3.



**Рис. 3.** Принципиальная схема комбинированной работы ГТУ-ТЭЦ с ТНУ: 1 - газотурбинная установка; 2 - циркуляционный насос; 3 - испаритель ТНУ; 4 - теплообменный аппарат; 5 - контур подпитывающей воды; 6 - контур охлаждающей воды; 7 - контур подмешивающей воды из обратной магистрали теплосети; 8 - контур для возврата воды в обратную магистраль теплосети; 9 – обратная магистраль теплосети; 10 - контур отвода воды из обратной магистрали теплосети в конденсатор ТНУ; 11 - конденсатор ТНУ; 12 - теплообменный аппарат; 13 - теплообменный аппарат замкнутого контура; 14 - химводоочистное устройство; 15 - котел-утилизатор; 16 - компрессор ТНУ; 17- дроссельный вентиль ТНУ; 18- сетевой насос замкнутого контура; 19 - циркуляционный насос линии забора воды из внешнего источника

Принцип действия ГТУ-ТЭЦ с ТНУ заключается в следующем: охлаждающая вода газотурбинной установки 1 циркуляционным насосом 2 подается в испаритель ТНУ 3, а затем в теплообменный аппарат 4 для более глубокого охлаждения и частичного подогрева подпит-

точной воды в контуре 5. Затем холодная вода направляется в контур 6 для дальнейшего использования в качестве охлаждающей воды ГТУ, что позволяет практически полностью отказаться от забора воды для охлаждения ГТУ из внешнего источника, тем самым снизить расход электроэнергии на циркуляционный насос для ее транспортировки. По линии 7 вода из обратной магистрали теплосети подмешивается в охлаждаемую воду ГТУ, что позволяет управлять температурой воды перед испарителем ТНУ для достижения его наилучшего коэффициента трансформации, а затем по линии 8 вновь направляется в обратную магистраль теплосети 9. По линии 10 вода из обратной магистрали теплосети направляется в конденсатор ТНУ 11. После конденсатора ТНУ часть воды необходимая для нагрева подпиточной воды до 37 °С направляется в теплообменный аппарат 12, затем вместе с остальной водой вновь возвращается в обратную магистраль теплосети и подогревается теплообменным аппаратом замкнутого контура 13. Подпиточная вода с требуемой температурой направляется в химводоочистное устройство 14 [7, 10].

К достоинствам рассматриваемой схемы следует отнести:

- снижение отбора тепловой энергии для подогрева подпиточной воды;
- снижение расхода воды для технологических процессов и электроэнергии на ее перекачивание сетевыми насосами;
- уменьшение себестоимости тепловой энергии;
- повышение рабочей нагрузки ГТУ-ТЭЦ в период «ночного» провала графика электрической энергии;
- экономия газового топлива при обеспечении потребителей тепловой энергией;
- улучшение экологической ситуации в области за счет снижения выбросов в атмосферу и в бассейн реки Северский Донец.

Таким образом, при использовании предложенной технологии экономия газового топлива составляет в среднем 500 м<sup>3</sup>/ч для Белгородской ГТУ-ТЭЦ, что является весьма актуальным для внедрения в производство. При этом улучшается экологическая обстановка водного бассейна реки Северский Донец. Данная технология совместной работы ГТУ-ТЭЦ с теплонасосной установкой обладает сравнительной конструктивной простотой, экономической эффективностью и может быть использована для оптимизации работы других ТЭЦ, являющихся основными источниками тепловой энергии централизованных систем теплоснабжения [6, 8, 11].

#### Библиографический список

1. Отчет о функционировании ЕЭС России в 2014 году, М. - 2015. - 36 с.
2. Стратегия повышения энергоэффективности в муниципальных образованиях, М. 2008. - 261 с.
3. **Манюк, В. И.** Справочник по наладке и эксплуатации водяных тепловых сетей / В. И. Манюк и др. – М.: Стройиздат. – 1982. – 251 с.
4. **Рей, Д.** Тепловые насосы: Пер. с англ. / Д. Рей, Д. Макмайл – М.: Энергоиздат, 1982. – 224 с.
5. **Кушев, Л. А.** Маневренная газотурбинная теплоэлектроцентраль / Л. А. Кушев, И. В. Волабуев // Патент РФ № 89621
6. **Волабуев, И. В.** Ресурсосбережение при работе ТЭЦ / И. В. Волабуев, Т. Ю. Андреева, Л. А. Кушев // VII Международный молодежный форум «Образование. Наука. Производство», БГТУ им. В.Г. Шухова, Белгород, 2015.
7. **Булыгина, С. Г.** Анализ динамики ценовых факторов в технико-экономических обоснованиях систем теплоснабжения / С. Г. Булыгина // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. - 2011. - № 1. - С. 17-23.
8. **Чудинов, Д. М.** Разработка алгоритма обоснования структуры энергокомплекса на базе возобновляемых источников энергии / Д. М. Чудинов, К. Н. Сотникова, М. Ю. Морозов, С. В. Чуйкин // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. - 2009. - № 1. - С. 147-154.
9. **Мелькумов, В. Н.** Использование кластерного анализа для повышения надежности инженерных сетей / В. Н. Мелькумов, Г. А. Кузнецова, А. Н. Кобелев // Вестник Воронежского государственного технического университета. - 2012. - Т. 8. - № 11. - С. 141-145.
10. **Сотникова, О. А.** Моделирование теплоступлений от оборудования тепловой обработки продуктов в производственных помещениях ресторанных комплексов / О. А. Сотникова, С. Г. Тульская, Л. А. Кушев //

Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. - 2013. - № 3 (31). - С. 32-40.

11. **Колосов, А. И.** Восстановление систем теплогазоснабжения после аварий / А. И. Колосов, Д. Н. Шабанов, В. Л. Бочарников // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. - 2010. - № 1. - С. 98-104.

#### References

1. Otchet o funkcionirovanii EJeS Rossii v 2014 godu, M.-2015. - 36 s.
2. Strategija povysheniya jenergojeffektivnosti v municipal'nyh obrazovaniyah, M. 2008. - 261 s.
3. **Manjuk, V. I.** Spravochnik po naladke i jekspluatacii vodjanyh teplovyh setej / V. I. Manjuk i dr. – M.: Stroizdat. – 1982. – 251 s.
4. **Rej, D.** Teplovye nasosy: Per. s angl. / D. Rej, D. Makmajl – M.:Jenergoizdat, 1982. – 224 s.
5. **Kushhev, L. A.** Manevrennaja gazoturbinnaja teplojelektrocentral' / L. A. Kushhev, I. V. Volabuev // Patent RF № 89621
6. **Volabuev, I. V.** Resursosberezhenie pri rabote TJeC / I. V. Volabuev, T. Ju. Andreeva, L. A. Kushhev // VII Mezhdunarodnyj molodezhnyj forum «Obrazovanie. Nauka. Proizvodstvo», BGTU im. V.G. Shuhova, Belgo-rod, 2015.
7. **Bulygina, S. G.** Analiz dinamiki cenovyh faktorov v tehniko-jekonomicheskikh obosnovaniyah sistem teplosnabzhenija /S. G. Bulygina // Nauchnyj zhurnal. Inzhenernye sistemy i sooruzhenija. - 2011. - № 1. - S. 17-23.
8. **Chudinov, D. M.** Razrabotka algoritma obosnovanija struktury jenergokompleksa na baze vozobnovljajemyh istochnikov jenerгии / D. M. Chudinov, K. N. Sotnikova, M. Ju. Morozov, S. V. Chujkin // Nauchnyj zhurnal. Inzhenernye sistemy i sooruzhenija. - 2009. - № 1. - S. 147-154.
9. **Mel'kumov, V. N.** Ispol'zovanie klaster'nogo analiza dlja povysheniya nadezhnosti inzhenernyh setej / V. N. Mel'kumov, G. A. Kuznecova, A. N. Kobelev // Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta. - 2012. - T. 8. - № 11. - S. 141-145.
10. **Sotnikova, O. A.** Modelirovanie teplopostuplenij ot oborudovanija teplovoj obrabotki produk-tov v proizvodstvennyh pomeshhenijah restorannyh kompleksov / O. A. Sotnikova, S. G. Tul'skaja, L. A. Kushhev // Nauchnyj vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Stroitel'stvo i arhitektura. - 2013. - № 3 (31). - S. 32-40.
11. **Kolosov, A. I.** Vosstanovlenie sistem teplogazosnabzhenija posle avarij / A. I. Kolosov, D. N. Sha-banov, V. L. Bocharnikov // Nauchnyj zhurnal. Inzhenernye sistemy i sooruzhenija. - 2010. - № 1. - S. 98-104.

## IMPROVING THE PERFORMANCE OF DISTRICT HEATING BY USE LOW POTENTIAL ENERGY SOURCES

L. A. Kushchev, I. V. Volabuev, T. Yu. Andreeva

---

*Belgorod State Technological University named after V. G. Shukhov*  
*L. A. Kushchev, D.Sc. in Engineering, Prof. of Dept. of Heat and Gas Supply and Ventilation*  
*Russia, Belgorod, tel.:(4722)55-94-38; e-mail: asi@intbel.ru*  
*I. V. Volabuev, engineer of Heat and Gas Supply and Ventilation*  
*Russia, Belgorod, tel.:(4722)55-94-38; e-mail: asi@intbel.ru*  
*T. Yu. Andreyeva, bachelor of Heat and Gas Supply and Ventilation*  
*Russia, Belgorod, tel.:(4722)55-94-38; e-mail: asi@intbel.ru*

---

**Statement of the problem.** With the increase of environmental culture, it is necessary to cut consumption of fossil fuels. In this regard, the task becomes urgent rose-ciency of district heating systems.

**Results.** An original way of recycling waste heat energy nizkpotentsialnoy combined heat and power. To do this, apply heat pump system.

**Conclusions.** In the application of the heat pump system is achieved fuel economy - natural gas and improve the environmental situation of water Seversky Donets River basin.

**Keywords:** heating system, cogeneration, thermal energy, heat pumps, low-potential energy, "peak" boiler room, fossil fuel, gas, resource conservation, water, ecology.

## СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ

---

---

УДК 624.01

### ВАРИАНТЫ ПРИМЕНЕНИЯ УНИКАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПОКРЫТИЯ ДЛЯ БОЛЬШЕПРОЛЕТНЫХ СПОРТИВНЫХ СООРУЖЕНИЙ

А. И. Гришанович

---

*Воронежский государственный архитектурно-строительный университет  
А. И. Гришанович, аспирант кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела  
Россия, г. Воронеж, тел.: +7(473)271-53-21, e-mail: teplosnab\_kaf@vgasu.vrn.ru*

---

**Постановка задачи.** При проектировании и строительстве спортивных сооружений с зальными помещениями возникает комплекс сложных архитектурных и инженерных задач. Для создания комфортных условий в зале, обеспечения требований технологии, акустики, изоляции, вентиляции его от других помещений и окружающей среды определяющее значение приобретает конструкция покрытия зала.

**Результаты и выводы.** В ходе подробного анализа было выявлено то, что висячие конструкции эффективны для большепролетных спортивных сооружений. Достоинства этих покрытий: наиболее полное использование несущей способности высокопрочных сталей, совмещение в одной конструкции несущих и ограждающих функций, благодаря которому дополнительно снижается масса покрытия.

**Ключевые слова:** спортивные сооружения, большепролетные конструкции, висячие покрытия, тросы, крытые стадионы.

**Введение.** Спортивные сооружения (СС) являются одним из факторов развития спорта. В нашей стране проходит целая серия значимых спортивных событий: Универсиада (Казань 2013), Олимпиада (Сочи 2014), Чемпионат мира по водным видам спорта (Казань – 2015), Чемпионат мира по хоккею (Москва, Санкт-Петербург – 2016) и другие. В связи с этим возникла необходимость строительства новых спортивных сооружений, поскольку существующие не отвечали требованиям современного спорта.

Поэтому сейчас роль большепролетных конструкций в совершенствовании спортивных объектов является очень актуальной проблемой.

Многие спортивные сооружения, такие как крытые стадионы, ледовые арены, манежи, крытые теннисные корты имеют большую площадь и исключают наличие внутри здания несущих опор.

Большепролётная архитектура всегда занимала и продолжает занимать особое место в мировой истории. Строительство подобных масштабных объектов имеет собственное техническое направление в проектировании. И это направление сохранило к себе повышенный интерес в профессиональной среде до сегодняшнего дня. В основном, это здания общественного назначения, где свойства таких конструкций – как функциональные, так и эстетические – имеют возможность ярко проявить себя [1].

Большепролетные спортивные сооружения относятся к уникальным зданиям с повышенным уровнем ответственности, поэтому необходима систематизация сведений об архитектурно-планировочной структуре и применяемых большепролетных конструкций. [1,7].

### **1. Историко-эволюционный анализ развития вантовых (висячих) покрытий.**

**1.1. Висячие конструкции для строительства мостов.** Висячие конструкции имеют давнюю историю в строительстве мостов. Чтобы перебраться с одной стороны ущелья на другую, обезьяны пользуются вьющимися растениями, и можно предположить, что то же самое делали люди в доисторические времена. Затем они научились прикреплять лианы к деревьям на другой стороне ущелья, образуя одноканатные висячие мосты. Введение второго троса с соединительными деталями делает мост более удобным и менее опасным. Мосты такого типа, сделанные местным населением, ведущим примитивный образ жизни, были найдены в джунглях Амазонки. Висячие мосты из бамбука с пролетом 60 м использовались в Китае. Первый висячий мост был построен через пролив Менай в 1826 году по проекту Томаса Телфорда (рис.1). Это сооружение соединяет остров Англии с основной территорией Уэльса. Высота свода над водой достигает 30 м, с рекордным пролетом 176 м, и до сих пор висячие мосты удерживают первенство в этом отношении. История подвесных конструкций в зданиях была менее успешной.

Частично, это объясняется большей сложностью трехмерных сооружений по сравнению с плоской конструкцией моста. Гибко подвешенные мосты, такие, как мост через пролив Менай, имели статически определимые конструкции. Тросы, из высокопрочной стали перекрывающие относительно небольшие пролеты порядка 50 м и получающие относительно небольшие растягивающие напряжения 72,5 кг на кв. дюйм, удлиняются на 125 мм, что не так уже мало. Удобная для расчета теория упругих статически неопределимых конструкций подходящая лишь к этим конструкциям, в которых деформации настолько малы, что их влиянием на геометрическую форму конструкций можно пренебречь. Это, безусловно, не относится к висячим конструкциям [2, 5, 8].



**Рис.1.** Висячий мост через Менай, Уэльс, Великобритания [5]

**1.2. Висячие конструкции для спортивных сооружений.** Для висячих систем необходимо производить предварительное напряжение тросов, стабилизирующих, идущих под

прямым углом к несущим тросам. Это требуется в связи с их чувствительностью к температурным изменениями. Стальные тросы длиной 50 м изменяются на 15 мм при изменении температуры на 25 °С. Так как колебания тросов могут, естественно, привести к повреждению элементов кровли и снизить надежность всей конструкции, необходимо быть уверенным, что тросы, установленные при нормальной или, возможно, при холодной температуре, не ослабнут в наиболее жаркие дни года.

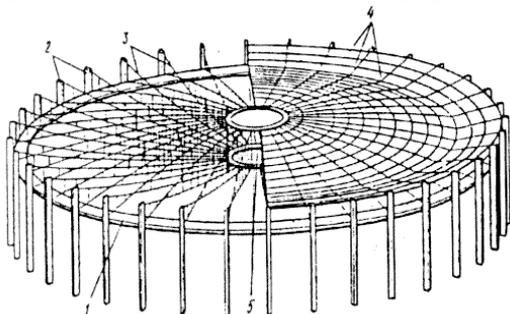
Таким образом, возникает необходимость проверки геометрической схемы связанных тросов при комбинированном действии нагрузок и усилий предварительного напряжения. В 1895 г. В. Г. Шухов запатентовал в России метод перекрытия зданий несущими стальными тентами.

В 1950 г. Новицкий задумал подвесную конструкцию арены для ярмарки штата Северная Каролина в г. Релей. Проект конструкции был закончен Фредом Н. Сиверудом. Архитектором был Уильям Х. Дейтрик. Построенное в 1952-1953 гг. сооружение состояло из двух пересекающихся арок, объединенных между собой тросами, образующими покрытие пролетом 89 м. Под прямым углом к несущим тросам шли другие, предварительно напряженные тросы. Эта сетка поддерживала покрытие из гофрированных стальных листов. Сиверуд, описывая эту конструкцию в 1956 г., сравнил ее с двумя людьми, уравнивающими натяжение рук давлением на ноги. По сравнению с этой конструкцией схему висячего моста, у которого тросы натянуты между двумя башнями и закреплены у земли, можно изобразить подобной же группой с добавлением двух лежащих фигур, отображающих закрепление у земли. Бетонные арки тяжелые, равнодействующие от массы и натяжения тросов должны быть в плоскости арок, если арки рассчитываются только на сжатие [1, 2, 9].

**1.3 Крытые спортивные сооружения XX века.** Крытое строительство спортивных сооружений впервые началось в США в 20-е годы, где стали вводиться разнообразные технические решения намного раньше, чем в других странах. Немного позднее, в 30-е годы, спортивные сооружения стали строиться в Европе, в России данное строительство началось позднее, в 50-е годы, и осуществлялось уже с учетом накопленного опыта строительства сооружений, не используя в достаточной степени многообразие решений покрытий спортивных сооружений.

Крытые арены делятся на малые и большие: малые арены - для тенниса, баскетбола, волейбола и других видов спорта; большие арены - для футбола, легкой атлетики, конькобежного спорта и других.

Центральное здание комплекса - круглое в плане, диаметром 94 м и высотой 22 м. Эту площадку называли экспериментальной. Здесь впервые было опробовано проектирование с «колес» и оригинальная вантовая конструкция покрытия главной арены. «Юбилейный» - это целая эпоха в градостроении. В сложных условиях зимы строители с помощью десятков проектировщиков ЛЕНЗНИИЭпа (проектная организация, которая находится в г. Санкт-Петербург) в невиданно сжатые сроки, досрочно, всего за год, возвели Дворец, где под куполом арены могли разместиться 6000 зрителей. Дворец напоминает легкую, изящную «корзиночку» и органически вписывается в ансамбль Петроградской стороны. Сегодня, на главной арене комплекса может с комфортом разместиться до 7012 зрителей.



**Рис. 2.** Принципиальная схема основного несущего каркаса и радиально-вантового покрытия здания Дворца спорта «Юбилейный» в Санкт-Петербурге: 1 - наружное железобетонное опорное контурное кольцо; 2 - железобетонные колонны каркаса; 3 - вантовые конструкции; 4 - кровельные стальные панели; 5 - внутренние стальные опорные кольца

Первые висячие конструкции тросового типа из узких железных полос были сооружены В.Г. Шуховым в 1896 г. на Нижегородской ярмарке. Крупным шагом в развитии висячих конструкций явилось сооружение в 1953 г. покрытия крытой арены стадиона  $92 \times 97$  м в г. Раллей (Северная Каролина, США, рис. 3). Здесь Мэтью Новицкий впервые внедрил сетки из тросов [2, 3, 9].



Рис. 3. Крытая арена «LivestockPavilion» в г. Ралей, США

Бассейн спорткомплекса «Олимпийский», разработанный с Моспроект-2 в 1996 г., представляет собой овальное в плане сооружение ( $126 \times 104$  м), покрытие которого выполнено из жёстких висячих конструкций. В 1998 г. завершено возведение уникальной конструкции покрытия над трибунами стадиона «Лужники».



Рис. 4. Стадион «Лужники» в Москве

Стационарная часть покрытия запроектирована в виде пологого усеченного купола-оболочки (наружные размеры  $224 \times 183$  м, вылет козырька 63,5 м). Несущие конструкции выполнены в виде системы радиально-кольцевых ребер, опирающихся на наружные и внутренние опорные кольца [2, 6].

Олимпийский стадион Stade Olympique в Монреале был построен в 1973 году как главная спортивная арена летних Олимпийских игр 1976 года. На нем проходили церемонии открытия и закрытия Игр. Это один из крупнейших по вместимости стадионов Канады (65 255 человек).

Архитектор РожеТайлинберг спроектировал стадион как необычайно сложное и изящное сооружение. Стадион построен в виде велосипедного шлема. Его 175- метровая башня

является самым наклонным строением в мире. Ее еще называют «Монреальской башней». Вместе с Останкинской и Эйфелевой она входит во Всемирную федерацию высотных башен. По проекту крыша стадиона должна открываться, но это так и не было реализовано.

Стадион имеет эллиптическую форму, размеры по большой оси 490 м, по малой 280 м. Трибуны вмещают 50 000–70 000 зрителей.

Сейчас в Монреале уже не проводятся соревнования такого класса, как Олимпиада, поэтому на содержание Stade Olympique требуется много средств. Но сооружение уникально и украшает город [2, 7].

**1.4 Строительство крытых спортивных сооружений в XXI веке.** Сегодня крытые стадионы - неперенный атрибут современного спорта. Поэтому новое спортивное сооружение делают или сразу крытым, или же оснащают его раздвижной крышей.

В 2004 г. было закончено строительство крытого конькобежного центра в Крылатском, представляющего собой сегмент круга радиусом 117 м с центральным углом - 160°. Проект разработан Моспроект-4. ЦНИИСК принял участие в рабочем проектировании несущих конструкций покрытия и осуществлял научно-техническое сопровождение их изготовления и монтажа. Покрытие образовано деревометаллическими фермами. Система парных радиальных ферм пролетом 2x50,4 м посередине покрытия через кольцевую балку подвешена к вантам, которые через центральный стальной пилон высотой 50 м и подкрепляющие его две оттяжки передают усилие на фундамент.

Спортивный комплекс «Крылатское» – уникальное сооружение международного уровня как по архитектурно-инженерным решениям, так и по техническому оснащению, его смело можно поставить в один ряд с олимпийскими ледовыми аренами, построенными в Нагано (Япония, 1998); Хамаре (Норвегия, 1994); Солт-Лейк-Сити (США, 2002). Вместимость конькобежного центра – 10 000 зрителей [1, 2].

В 2007 году на месте старого стадиона «Уэмбли» (1923 г.) был открыт новый. Старый «Уэмбли», известный также как Empire Stadium, был одним из самых известных футбольных стадионов мира до момента его сноса в 2003 году. Новый «Уэмбли» (рис.5) был спроектирован архитектурными компаниями Foster and Partners и Populous.

В основу дизайна нового 90-тысячного «Уэмбли» легла форма «чаши» с раздвижной крышей. Также он может использоваться как атлетический стадион: для этого проектом предусмотрена возможность возведения временной платформы на нижних ярусах [1, 2, 10].



Рис.5. Внешний вид стадиона «Уэмбли», Лондон

Рассмотри так же, спортивные сооружения, которые были созданы за последние 5 лет или находятся в процессе разработки проектов и строительства.



Рис. 6. Внешний вид стадиона «Казань Арена», Казань

Казань Арена» - универсально-футбольный стадион в Казани (Россия), домашняя арена футбольного клуба «Рубин». Самый вместительный действующий футбольный стадион России 45 тыс. человек. Был открыт в 2013 году (рис. 6) [4].

Располагаться арена будет на месте стадиона имени С. М. Кирова. Автором проекта был японский архитектор КисёКурокава. Один из самых дорогих футбольных стадионов в мире. Вместимость будет составлять: 69,500 мест, открытие запланировано: 2017 год [4].

**Выводы.** Большепролетные покрытия - конструкции, которые отличаются увеличенной несущей способностью при малой материалоемкости, применяемые для сооружения перекрытий больших пролетов (от 36 м). Несмотря на отсутствие единого определения, здания и сооружения с большепролетными конструкциями - это сложные строительные объекты. Для изготовления большепролетных конструкций используют различные материалы, в том числе древесину, железобетон и металл. Кроме этого большепролетные системы выполняются из специальных тканей, а в отдельных элементах могут применяться тросы и углепластик [11, 12].

Применение большепролетных конструкций дает возможность максимально использовать несущие качества материала и получить за счет этого легкие и экономичные покрытия. За рубежом построено довольно много крытых спортивных арен различного типа. В России крытые сооружения построены в Москве, Санкт-Петербурге, Казани. Крупные спортивные сооружения, такие как легкоатлетические манежи, футбольные поля или ледовые арены, строятся по современным технологиям с необычными конструктивными элементами кровли. Примером может послужить спортивный комплекс «Крылатское» (г. Москва, 2004 г.), поражающий своим масштабным величием и сложной конструктивной системой кровли.

#### Библиографический список

1. **Агеева, Е. Ю.** Большепролетные спортивные сооружения: архитектурные и конструктивные особенности: Учебное пособие / Е. Ю. Агеева, М. А. Филиппова - Н. Новгород: Издательство Нижегородского гос. архит.-строительного университета, 2014. –84 с.
2. <http://grensi.com/architecture/visyachie-konstrukcii.html>
3. **Кривошапко, С. Н.** Висячие тросовые конструкции и покрытия сооружений / С.Н. Кривошапко // Российский университет дружбы народов. Строительство уникальных зданий и сооружений - 2015. - №7.- С.52-65.
4. <http://vilinstore.net/>
5. <https://ru.wikipedia.org>
6. <http://stadiums.at.ua/>
7. **Еремеев, П. Г.** Металлические конструкции покрытий уникальных большепролетных сооружений / П. Г. Еремеев // Промышленное и гражданское строительство. 2007. - № 3

8. **Кривошапко, С. Н.** Выдающиеся пространственные сооружения последних 20 лет / С. Н. Кривошапко, И. А. Мамиева // Монтажные и специальные работы в строительстве. - 2012. - № 12. - С. 8 - 14
9. **Kloiber, L. A.** Design consideration in cable - stayed roof structures / L. A. Kloiber, D. E. Eckmann, Th. R. Meyer, St. J. Hautzinger // North American Steel Construction Conference "Modern Steel Construction", March 2004. 7 p.
10. **Синицын, А. П.** Динамика гибких покрытий с большими прогибами / А. П. Синицын // Висячие покрытия: Тр. совещания по исследованию и внедрению висячих покрытий. М.: ГСИ, 1962, 248 с.
11. **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.
12. **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. **Ageeva, E. Ju.** Bol'sheproletnye sportivnye sooruzhenija: arhitekturnye i konstruktivnyeosobenno-sti.: Uchebnoe posobie / E. Ju. Ageeva, M. A. Filippova –N. Novgorod: Izdatel'stvo Nizhegorodskogo gos. ar-hit.-stroitel'nogo universiteta, 2014. –84 s.
2. <http://grensi.com/architecture/visyachie-konstrukcii.html>
3. **Krivoshapko, S. N.** Visjachie trosovyje konstrukcii i pokrytija sooruzhenij / S.N. Krivoshapko // Ros-sijskij universitet družby narodov. Stroitel'stvo unikal'nyh zdaniy i sooruzhenij - 2015. - №7.- S.52-65.
4. <http://vilinstore.net/>
5. <https://ru.wikipedia.org>
6. <http://stadiums.at.ua/>
7. **Eremeev, P. G.** Metallicheskie konstrukcii pokrytij unikal'nyh bol'sheproletnyh sooruzhenij / P. G. Eremeev // Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. 2007. - № 3
8. **Krivoshapko, S. N.** Vydajushhiesja prostranstvennye sooruzhenija poslednih 20 let / S. N. Krivoshapko, I. A. Mamieva // Montazhnye i special'nye raboty v stroitel'stve. - 2012. - № 12. - S. 8 - 14
9. **Kloiber, L. A.** Design consideration in cable - stayed roof structures / L. A. Kloiber, D. E. Eckmann, Th. R. Meyer, St. J. Hautzinger // North American Steel Construction Conference "Modern Steel Construction", March 2004. 7 p.
10. **Sinicyn, A. P.** Dinamika gibkikh pokrytij s bol'shimi progibami / A. P. Sinicyn // Visjachie pokrytija: Tr. soveshhanija po issledovaniju i vnedreniju visjachih pokrytij. M.: GSI, 1962, 248 s.
11. **Mel'ukmov, V. N.** Matematicheskoe modelirovanie vozdušnyh potokov v pomeshhenijah bol'shih ob'emov / V. N. Mel'ukmov, A. V. Loboda, S. V. Chujkin // Nauchnyj vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Stroitel'stvo i arhitektura. - 2014. - № 2 (34). - S. 11-18.
12. **Plaksina, E. V.** Harakternye osobennosti sistem obespechenija parametrov mikroklimate v sportivno-ozdorovitel'nyh pomeshhenijah / E. V. Plaksina // Nauchnyj zhurnal. Inzhenernye sistemy i sooruzhenija. - 2014. - Т. 2. - № 4 (17). - S. 43-48.

## APPLICATIONS OF UNIQUE COVER DESIGNS FOR LONG-SPAN SPORTS FACILITIES

I. A. Grishanovich

---

*Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering*

*I. A. Grishanovich, Ph. D. student of Dept. of Heat and Gas Supply and oil and gas business*

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

---

**Statement of the problem.** In the design and construction of sports facilities hall with facilities there is a complex architectural and engineering problems. To create comfortable conditions in the room, ensure the requirements of the technology, acoustics, insulation, ventilation from other areas and the environment crucial is the cover design of the hall..

**The results and conclusions.** During the detailed analysis revealed that the suspension design is effective for long-span sports facilities. The advantages of these coverings: the most complete use of the carrying capacity of high-strength steels, combining in one design of bearing and enclosing functions, due to which additionally reduces the weight of the coating.

**Keywords:** sports facilities, long span structures, hanging wall coverings, ropes, indoor stadiums.

## ПОЖАРНАЯ И ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ (В СТРОИТЕЛЬСТВЕ)

---

УДК 699.81

### ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЖАРООПАСНЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ЛЮМИНЕСЦЕНТНОГО СВЕТИЛЬНИКА

А. П. Паршина, Н. И. Атапин

---

*Воронежский государственный архитектурно-строительный университет*

*А. П. Паршина, аспирант кафедры пожарной и промышленной безопасности*

*Россия, г. Воронеж, тел.8(473)271-53-21, e-mail:parshina@vgasu.vrn.ru*

*Н. И. Атапин, магистрант кафедры пожарной и промышленной безопасности*

*Россия, г. Воронеж, тел.8(473)271-53-21, e-mail:parshina@vgasu.vrn.ru*

---

**Постановка задачи:** в результате широкого применения электроприборов во всех сферы деятельности человека, возникла необходимость оценки потенциальной опасности электроприборов и электросетей в целом. В связи с этим требуется разработка актуальных методов защиты зданий и помещений от пожаров, возникающих по причине возникновения аварийных режимов электросети.

**Результаты:** проведено исследование аварийных режимов работы пускорегулирующей аппаратуры люминесцентного светильника, причастных к возникновению пожара в помещении.

**Выводы:** возникновение аварийного режима работы в люминесцентном светильнике представляет существенную опасность возникновения пожара в помещении, способствует возникновению вторичных очагов возгорания и распространению огня по пожарной нагрузке. Предложены мероприятия, направленные на снижение пожарной опасности люминесцентных светильников.

**Ключевые слова:** люминесцентный светильник, пожарная опасность, пускорегулирующая аппаратура, аварийные режимы работы электроприборов.

**Введение.** Современное общество, условия труда и жизнедеятельности в целом требует внедрения инновационных технических устройств во всех сферах деятельности. Для обеспечения объектов как общественного, так и жилого назначения требуется все большее количество электроприборов и оборудования. При этом мощность, потребляемая электроприборами, тоже увеличивается. С увеличением количества технических устройств и потребляемой ими мощности, растет и нагрузка на электросеть. На сегодняшний день ничтожно малое количество зданий имеют качественно проложенную электросеть, которая отвечает требованиям современных технических устройств и способна выдержать количество используемой электротехнической продукции. В связи с этим, количество пожаров, возникающих в результате аварийных режимов в электросетях и электроприборах, постоянно увеличивается. При этом, по количеству данная категория пожаров занимает уверенное второе место, среди пожаров, возникших в результате неосторожного обращения с огнем, нарушения правил эксплуатации печей и поджогов (рис.1). Таким образом, согласно статистическим данным за 2013 год в России, в результате нарушения правил эксплуатации электрооборудования и бытовых электроприборов произошло 40 344 пожаров, в 2014 году данная величина выросла на 1,19 % и составила 40 871 пожаров.

Наиболее распространенными потребителями электроэнергии в любом здании, не зависимо от его функционального назначения, являются осветительные приборы. Освещение необходимо в любом здании и, практически, в любом помещении. При этом наиболее часто пожары в осветительных приборах возникают по причине аварийного режима работы пускорегулирующей аппаратуры. Одним из наиболее распространенных осветительных приборов, являются люминесцентные светильники. Они универсальны, способны осветить достаточно большую площадь помещения и имеют продолжительный срок службы. Пускорегулирующая аппаратура люминесцентного светильника состоит из стартера, конденсатора и дросселя (рис.2) [1, 4, 7].



Рис. 1. Распределение причин пожаров согласно статистическим данным за 2012-2014 год

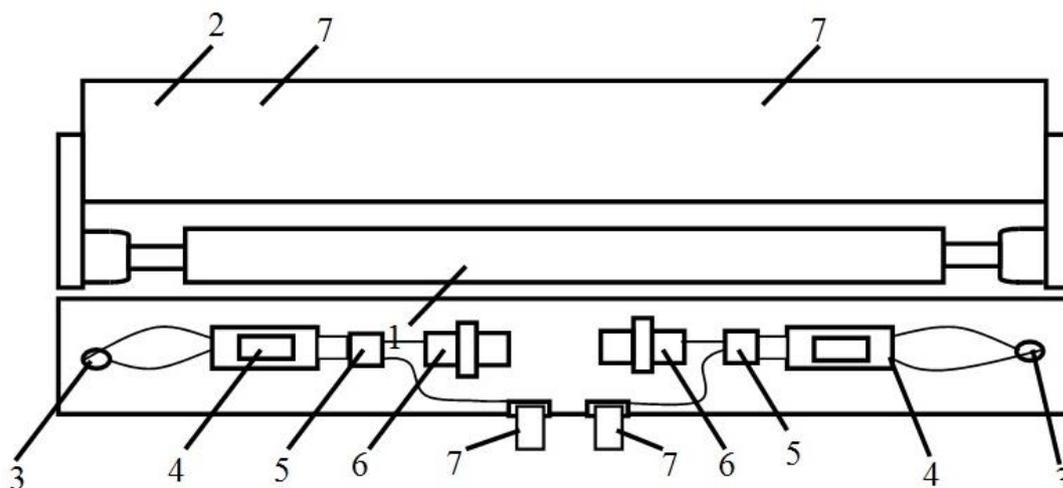


Рис. 2. Люминесцентный светильник: 1-люминесцентная лампа, 2- корпус светильника, 3- монтажное отверстие, 4-дроссель, 5- электромонтажная коробка, 6-конденсатор, 7-стартер [1]

**1. Визуальное исследование обгоревших остатков люминесцентных светильников, причастных к возникновению пожара.** В ходе исследования были изучены 5 люминес-

центных светильников типа ЛСП/РЕ/НВ 0204, имеющих явные признаки аварийного режима работы.

Аварийные режимы работы электросети делятся на:

- короткое замыкание
- перегрузка электросети;
- скачок тока;
- слабый ток;
- скачок напряжения;
- низкое напряжение;

Все выше перечисленные режимы, так или иначе, при своём проявлении оказывают непосредственное влияние на электроприборы, находящиеся в этой сети, последствия, которого могут быть трагичны, а в некоторых случаях приводят к человеческим жертвам.

Короткое замыкание характеризуется превышением номинального напряжения в десятки раз, проявляется яркой вспышкой лампочки

Перегрузка электросети, даёт о себе знать нагревание розетки, выключателя и провода, вплоть до их возгорания.

Скачок тока – следствие кратковременного превышения напряжения. При включении лампа накаливания перегорает.

Слабый ток – причиной может быть разрыв сети, в таком случае лампа накаливания горит тусклым светом.

Скачок напряжения – чаще всего возникает из-за попадания молнии, в этом случае выходят из строя большинство электроприборов.

Низкое напряжение – возникает при частичном разрыве электросети, при длительном использовании данного режима могут выйти из строя электроприбора.

Во всех рассмотренных случаях приборы имеют визуальные признаки короткого замыкания, которое привело к выходу из строя стартера. Стенки стартера имеют следы термического воздействия (рис. 3).

## 2. Механизм возникновения горения внутри люминесцентного светильника.

Вследствие повышения температуры провода, ведущего от стартера к дросселю, произошло межвитковое замыкание, что привело к значительному повышению температуры, как корпуса дросселя, так и самого светильника. Признаки термического воздействия на корпусе светильника выражаются изменением цвета материала, из которого изготовлен корпус светильника, а также, на некоторых участках обнаружена деформация вследствие воздействия на них высоких температур [2, 3, 6].



Рис. 3. Фото стартеров со следами термического воздействия

В зависимости от материалов, из которых изготовлен светильник, могут быть разные последствия аварийных режимов работы. Одними из самых распространённых в бытовой

сфере аварийных режимов, являются короткое замыкание и скачки напряжения электросети. Эти аварийные режимы сопровождаются значительными выделениями термической энергии, которая воздействует на корпус светильника, состоящий из термопластичных полимерных материалов, которые имеют свойство плавиться и гореть. Так как данный вид светильников располагается на потолке, то соответственно, под ним находятся множества материалов несущих пожарную нагрузку.

В таком случае сценарий развития пожара таков: короткое замыкание вызывает возгорание корпуса светильника, далее образовавшаяся расплавленная масса термопластичных полимерных материалов каплями падает на поверхность, располагающуюся под светильником, тем самым оказывая на неё термическое воздействие и, вследствие этого, возгорание материалов, далее в зависимости от множества факторов пламя распространяется по помещению.

**Вывод.** Возникновение аварийного режима работы в люминесцентном светильнике представляет существенную опасность возникновения пожара в помещении. Также, данный вид осветительных приборов, в условиях пожара, способствует возникновению вторичных очагов возгорания и распространению огня по пожарной нагрузке. Таким образом, возникает необходимость разработки дополнительных мер защиты пускорегулирующей аппаратуры от последствий аварийных режимов работы, а также деталей изделия, изготовленных из сгораемых материалов.

#### Библиографический список

1. **Чешко, И. Д.** Технические основы расследования пожаров: методическое пособие / И.Д. Чешко. – М.: ВНИИПО, 2002. – 330 с.
2. **Скляр, К. А.** Изучение «электротехнических» причин пожаров при расследовании и экспертизе: метод. указания // К. А. Скляр, Е. А. Сушко, А. П. Паршина // Воронежский ГАСУ, Воронеж.- 2014. – 32 с.
3. **Паршина, А. П.** Методика проведения экспериментального исследования динамики температуры газовой среды при пожаре // А. П. Паршина, М. В. Паршин, В. Л. Мурзинов // Новые технологии и проблемы технических наук Сборник научных трудов по итогам международной научно-практической конференции. Инновационный центр развития образования и науки, г. Красноярск. - 2014. - С. 131-136.
4. **Колодяжный, С. А.** Математическая модель для определения критического времени эвакуации при пожаре / С.А. Колодяжный, В. А. Козлов, И. И. Переславцева // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. 2014. № 3 (35). С. 128-138.
5. **Ситников, И. В.** Экспериментальное исследование и моделирование динамики удельной массовой скорости выгорания жидкости в условиях функционирования противодымной вентиляции / И. В. Ситников, С. А. Колодяжный, А. А. Однолюк // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. - 2014. - № 3 (35). - С. 149-157.
6. **Колодяжный, С. А.** Обеспечение безопасности функционирования систем газоснабжения при мониторинге технического состояния в условиях информационной неопределенности / С. А. Колодяжный, Е. А. Сушко, С. А. Сазонова, К. А. Скляр // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура.- 2014. - № 2 (34). - С. 132-140.
7. **Мурзинов, В. Л.** Моделирование температурного режима при конвективном теплообмене в помещении с открытым пламенем / В. Л. Мурзинов, М. В. Паршин / Энергосбережение и водоподготовка. - 2015. - № 2 (94). - С. 56-58.

#### References

1. **Cheshko, I. D.** Tehnicheskie osnovy rassledovaniya pozharov: metodicheskoe posobie / I.D. Cheshko. – M.: VNIIPPO, 2002. – 330 s.
2. **Sklyarov, K. A.** Izuchenie «jelektrotehnicheskikh» prichin pozharov pri rassledovanii i jekspertize: metod. ukazaniya // K. A. Sklyarov, E. A. Sushko, A. P. Parshina // Voronezhskij GASU, Voronezh.- 2014. – 32 s.
3. **Parshina, A. P.** Metodika provedeniya jeksperimental'nogo issledovaniya dinamiki temperatury gazovoj sredy pri pozhare // A. P. Parshina, M. V. Parshin, V. L. Murzinov // Novye tehnologii i proble-my tehnicheskikh nauk Sbornik nauchnyh trudov po itogam mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferen-cii. Innovacionnyj centr razvitija obrazovaniya i nauki, g. Krasnojarsk. - 2014. - S. 131-136.

4. **Kolodjazhnyj, S. A.** Matematicheskaja model' dlja opredelenija kriticheskogo vremeni jevakuacii pri pozhare / S.A. Kolodjazhnyj, V. A. Kozlov, I. I. Pereslavceva // Nauchnyj vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Stroitel'stvo i arhitektura. 2014. № 3 (35). S. 128-138.

5. **Sitnikov, I. V.** Jeksperimental'noe issledovanie i modelirovanie dinamiki udel'noj massovoj skorosti vygoranija zhidkosti v uslovijah funkcionirovanija protivodymnoj ventiljacii / I. V. Sitnikov, S. A. Kolodjazhnyj, A. A. Odnol'ko // Nauchnyj vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Stroitel'stvo i arhitektura. - 2014. - № 3 (35). - S. 149-157.

6. **Kolodjazhnyj, S. A.** Obespechenie bezopasnosti funkcionirovanija sistem gazosnabzhenija pri monitoringe tehničeskogo sostojanija v uslovijah informacionnoj neopredelennosti / S. A. Kolodjazhnyj, E. A. Suško, S. A. Sazonova, K. A. Skljarov // Nauchnyj vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Stroitel'stvo i arhitektura. - 2014. - № 2 (34). - S. 132-140.

7. **Murzinov, V. L.** Modelirovanie temperaturnogo rezhima pri konvektivnom teploobmene v pome-shhenii s otkryтым plamenem / V. L. Murzinov, M. V. Parshin / Jenergosberezhenie i vodopodgotovka. - 2015. - № 2 (94). - S. 56-58.

## A STUDY OF THE FIRE MODES LUMINESCENTE LAMP

A. P. Parshina, N. I. Atapin

---

*Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering*

*A. P. Parshina, Ph. D. student of the Department of fire and industrial safety*

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

*N. I. Atapin, undergraduate student of faculty of fire and industrial safety*

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

---

**Statement of the problem.** The widespread use of electrical appliances in all spheres of human activity, there was a need to assess the potential danger of electrical appliances and electric systems as a whole. In this regard, urgent need to develop methods of protecting buildings and facilities from fires occurring because of emergency power mode.

**Results.** A study of emergency modes of operation ballasts of fluorescent lamps involved in a fire in the room.

**Conclusions.** The occurrence of emergency operation in fluorescent lamps is a significant risk of fire in the room contributes to the secondary sources of ignition and spread of fire for the fire load. The measures aimed at reducing the fire danger of fluorescent lamps.

**Keywords:** Fluorescent lamp, fire danger, control equipment, emergency modes of operation of the appliances.

## **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).