

**ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО  
ИНФРАСТРУКТУРА  
КОММУНИКАЦИИ**

**Выпуск № 1(14) 2019**

**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

**№ 1(14)**

**Март, 2019**

- 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**

**№ 1(14)**

**March, 2019**

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

**Voronezh**



**ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО  
ИНФРАСТРУКТУРА  
КОММУНИКАЦИИ**

Научный журнал

Издается с 2015 года

Выходит 4 раза в год

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

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

**РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ**

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

**РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ**

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Дата выхода в свет 29.03.2019. Усл. печ. л. 7.44. Формат 60×84/8. Тираж 500 экз. Заказ № 184

Свидетельство о регистрации ПИ № ФС77-68664.

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

Цена свободная

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

ОТПЕЧАТАНО: Бизнес-Полиграфия, г. Воронеж



**GRADOSTROITELSTVO  
INFRASTRUKTURA  
KOMMUNIKATSII**

Periodical scientific edition

Published since 2015

Comes out 4 times per annum

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

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

**EDITORIAL COUNCIL**

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

**EDITORIAL BOARD**

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Date of publication 29.03.2019. Conventional printed sheets 7.44. Format 60×84/8. Circulation 500 copies. Order 184

Registration certificate III № ФС77-68664

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

Price free

THE ADDRESS OF EDITORIAL OFFICE AND THE PUBLISHER: 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

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ, ВЕНТИЛЯЦИЯ, КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА, ГАЗОСНАБЖЕНИЕ И ОСВЕЩЕНИЕ</b> .....	9
<i>Аралов Е. С., Тульская С. Г., Скляр К. А., Бугаевский Д. О.</i> Анализ статистических данных по аварийности в системах газоснабжения.....	9
<i>Бокало И. Д., Китаев Д. Н., Фильшина И. Ю., Козлов А. И.</i> Коэффициент теплоотдачи полипропиленовых трубопроводов системы горячего водоснабжения.....	15
<i>Усачёв Е. Г., Добычин А. В., Островская М. М., Петрикеева Н. А.</i> Повышение противокоррозионных свойств нефтехимического и газового оборудования.....	22
<i>Китаев Д. Н., Недобежкин Д. О., Богданов В. М., Бейманов Т.</i> Коэффициент сжимаемости природного газа расчетного состава .....	29
<i>Фролов Ю. В., Фильшина И. Ю., Недобежкин Д. О., Богданов В. М.</i> Методы расчета теплопотребления на нужды отопления многоквартирных жилых зданий .....	34
<b>ТЕХНОЛОГИЯ И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА</b> .....	40
<i>Тульская С. Г., Коротких Е. П., Максименко А. М.</i> Инженер производственно-технического отдела в строительстве.....	40
<b>ПРОЕКТИРОВАНИЕ И СТРОИТЕЛЬСТВО ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СЕТЕЙ</b> .....	49
<i>Николайчик А. В., Кенжегалиев С. Ж.</i> Сравнительный анализ расчета высоты стержневых молниеотводов на основе существующих инструкций.....	49
<b>ПРАВИЛА НАПИСАНИЯ И ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЕЙ</b> .....	55

## CONTENTS

<b>HEAT AND GAS SUPPLY, VENTILATION, AIR CONDITIONING, GAS SUPPLY AND ILLUMINATION.....</b>	<b>9</b>
<i>Aralov E. S., Tulskeya S. G., Sklyarov K. A., Bugaevsky D. O.</i>	
Analysis of statistical data on accidents in gas supply systems.....	9
<i>Bokalo I. D., Kitaev D. N., Filshina I. Y., Kozlov A. I.</i>	
Coefficient of heat recovery of polypropylene pipelines of the hot water supply system.....	15
<i>Usachev E. G., Dobichin A. V., Ostrovskaya M. M., Petrikeeva N. A.</i>	
Improving the anti-corrosion properties of petrochemical and gas equipment.....	22
<i>Kitaev D. N., Nedobezhkin D. O., Bogdanov V. M., Baimanov T.</i>	
Natural gas composition ratio design structure.....	29
<i>Frolov Y. V., Filshina I. Y., Nedobezhkin D. O., Bogdanov V. M.</i>	
Methods of calculating heat consumption for the needs of heating apartment residential buildings .....	34
<b>TECHNOLOGY AND ORGANIZATION OF CONSTRUCTION.....</b>	<b>40</b>
<i>Tulskeya S. G., Korotkikh E. P., Maksimenko A. M.</i>	
Engineer of production and technical department in construction.....	40
<b>DESIGNING AND CONSTRUCTION OF ENERGY NETWORKS.....</b>	<b>49</b>
<i>Nikolaichik A. V., Kenzhegaliev S. Z.</i>	
Comparative analysis of the calculation of the height of the lightning rods on the basis of existing instructions.....	49
<b>RULES OF PREPARATION OF ARTICLES.....</b>	<b>55</b>

# ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ, ВЕНТИЛЯЦИЯ, КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА, ГАЗОСНАБЖЕНИЕ И ОСВЕЩЕНИЕ

УДК 697.34

## АНАЛИЗ СТАТИСТИЧЕСКИХ ДАННЫХ ПО АВАРИЙНОСТИ В СИСТЕМАХ ГАЗОСНАБЖЕНИЯ

Е. С. Аралов, С. Г. Тульская, К. А. Скляр, Д. О. Бугаевский

*Воронежский государственный технический университет*

*Е. С. Аралов, ассистент кафедры теплоснабжения и нефтегазового дела*

*Россия, г. Воронеж, тел.: +7(473)271-53-21, e-mail: vgtu.aralov@yandex.ru*

*С. Г. Тульская, канд. техн. наук, доцент кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела*

*Россия, г. Воронеж, тел.: +7(473)271-53-21, e-mail: tcdtnkfyf2014@yandex.ru*

*К. А. Скляр, канд. техн. наук, доцент кафедры техносферной и пожарной безопасности*

*Россия, г. Воронеж, тел.: +7(473)271-59-26, e-mail: u00078@vgasu.vrn.ru*

*Д. О. Бугаевский, ассистент кафедры теплоснабжения и нефтегазового дела*

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

**Постановка задачи.** К статистической составляющей аварийности газораспределительной сети в настоящее время уделяют особое внимание. Настоящей задачей является выявление частых несчастных случаев на газопроводе, для того чтобы в будущем предотвратить многочисленные повреждения на объектах и уменьшать количество несанкционированных поломок.

**Результаты.** Рассмотрена динамика аварийности на газораспределительных сетях и выявлены основные факторы риска и причины аварий.

**Выводы.** Основные аварийные случаи происходят по причине воздействия внешних факторов, а именно механические повреждения подземных газопроводов, повреждения в результате природных явлений, а также повреждения газопровода автотранспортом. Исходя из этого, можно увидеть, на какие источники необходимо обратить внимание в первую очередь.

**Ключевые слова:** газопровод, динамика аварийности, газораспределение, авария, газопотребление.

**Введение.** Развитая система газопроводов и его эффективная работа в настоящее время является одним из важнейших условий обеспечения потребителя газом. В связи с этим данный вопрос, проблем энергетики России обращает внимание на существующие сбои газораспределительных сетей в связи с их высокой аварийностью [1, 2]. Именно безаварийная работа системы газопровода позволяет избежать многочисленных несчастных случаев. Поэтому к газопроводам предъявляются очень высокие требования, одним из которых является герметичность [3-8].

**1. Статистический материал по аварийности.** Одной из главных проблем газового хозяйства являются потери газа, которые происходят от его утечек из сквозных коррозионных и механических повреждений газопровода, не герметичности арматуры и ее соединений, при самовольных вмешательствах в систему внутридомового газооборудования.

В целях оценки удельного показателя аварийности наружных распределительных га-

зопроводов по отношению к общей аварийности на рисунке 1 представлена динамика нарушений работоспособности на объектах газораспределения и газопотребления в газовом хозяйстве по всей России за 2001-2017 г.г., а также проведены обработка и систематизация статистического материала аварий по основным объектам газового хозяйства.



Рис. 1. Динамика аварийности на объектах газораспределения и газопотребления

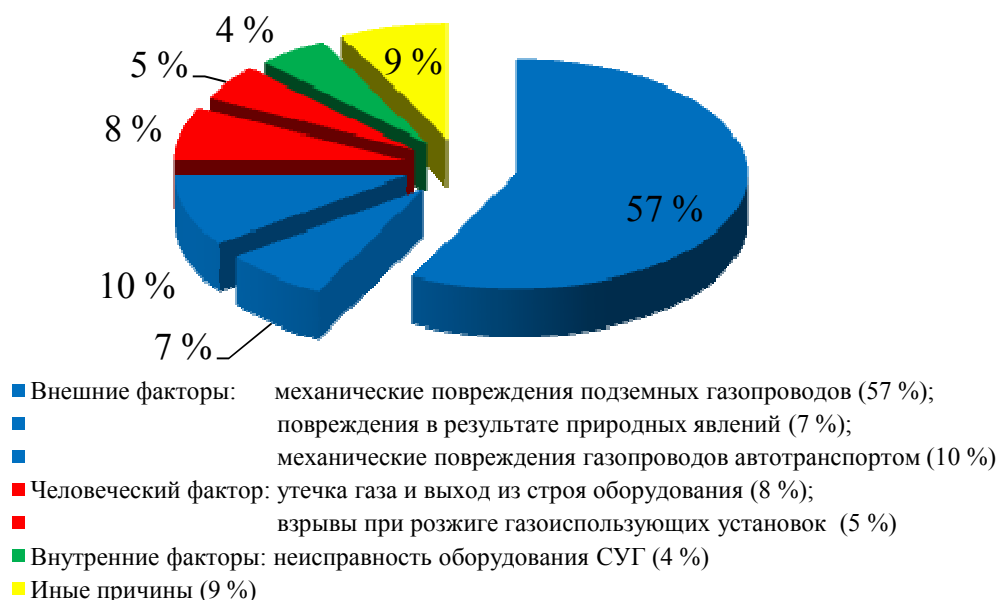
В таблице представлены виды аварий и статистические данные аварийности на объектах газораспределения за 2016 и 2017 год. Такие данные помогут оценить общую картину аварийности, и выявить основную причину возникновения аварий на газопроводах. Интересно отметить, что процентное соотношение аварий от механических повреждений по отношению к общему числу аварий достаточно постоянно и изменяется от 58 до 59 %.

Таблица

Статистические данные аварийности на объектах газораспределения

Причины аварий	Число аварий	
	2016	2017
Механические повреждения подземных газопроводов	8	23
Механические повреждения газопроводов автотранспортом	0	4
Повреждения в результате природных явлений	1	3
Коррозионные повреждения наружных газопроводов	1	0
Разрывы сварных стыков	0	0
Утечка газа, выход из строя оборудования в ГРП (ШРП), газопотребляющего оборудования	0	3
Взрывы при розжиге газоиспользующих установок и неисправность оборудования котла	2	2
Неисправность оборудования СУГ	2	2
Иные	0	3
Всего	14	40

Рассмотрим основные факторы риска и причины их возникновения в процентном соотношении на 2017 год. На рисунке 2 представлена диаграмма соотношения основных факторов риска и причины аварий на участках сети. Видим, что наибольшее количество аварий, а именно в 23 случаях (57 %) механические повреждения газопроводов происходят вследствие нарушения правил охраны газораспределительных сетей.



**Рис. 2.** Основные факторы риска и причины аварий: механические повреждения подземного газопровода – 57 %; повреждения в результате природных явлений – 7 %; механические повреждения газопроводов автотранспортом – 10 %; утечка газа и выход из строя оборудования – 8 %; взрывы при розжиге газоиспользующих установок – 5 %; неисправность оборудования СУГ – 4 %; иные причины – 9 %

Проведенный анализ общей аварийности в газовом хозяйстве, по количественной оценке, газопровод являются одним из основных объектов, создающий реальную опасность выбросов и утечек газа в атмосферу наружного воздуха. Поэтому актуальной задачей является оценка аварийной опасности повреждений газопроводов в зависимости от условий их прокладки, характера повреждений, давлений газа, диаметров, атмосферных воздействий и возможности проникновения газа вовнутрь расположенных рядом зданий и помещений, а также оценка экологических воздействий утечек и выбросов газа из поврежденных газопроводов.

**2. Потокоотказы по видам повреждения газопроводов.** Для полученных данных статистического анализа проводится математическая обработка потокоотказов.

Среднее значение параметра потокоотказов с учетом всех повреждений рассчитывается для каждого года по формуле:

$$\omega_{r,i} = \frac{\Delta n_i}{T \sum l_i}, \quad (1)$$

где  $\Delta n_i$  – число повреждений за 5 лет на газопроводах  $i$ -го года укладки;  $T$  – годы наблюдений, равные 5 годам;  $\sum l_i$  – протяженность газопровода  $i$ -го года укладки, км.

Среднеарифметическое значение потокоотказов рассчитывается по формуле:

$$\omega_r = \frac{\sum_{ri}^n \omega_{ri}}{n}. \quad (2)$$

Среднеквадратичная погрешность результатов определяется по формуле:

$$\Delta S_{\omega_i} = \sqrt{\frac{\sum_{ri}^n (\omega_{ri} - \omega_r)^2}{(n-1) \cdot n}}. \quad (3)$$

Далее рассчитывается среднеквадратичные погрешности результатов и доверительные интервалы по коэффициенту Стьюдента:

$$J_a = (\omega_r - t_a \Delta S_{\omega_r}), \quad (4)$$

$$J_a = (\omega_r + t_a \Delta S_{\omega_r}). \quad (5)$$

Максимальные значения параметра потокоотказов, определенные при доверительной вероятности равной 0,95 и коэффициенте Стьюдента  $t_a = 2,1$ .

**3. Основные виды повреждений газопроводов.** Самые проблемные места утечек газа из трубопроводов и сооружений являются сварные стыки, резьбовые соединения, сальниковые и фланцевые уплотнения арматуры. Коррозия и сквозные повреждения на наружных газопроводах обнаруживаются очень редко. Многочисленные выбросы газа в окружающую среду могут возникать в результате изгиба и растягивания труб, статических и динамических нагрузок (температурные и механические деформации). Для большого уровня повреждений характерно осевое и угловое смещение разных концов труб, при этом происходит полное разрушение сварного соединения. Чаще всего это происходит при температурных деформациях (с учетом коэффициента линейного теплового расширения сокращение длины стальной трубы может достигать 1-3 см на 100 м).



Рис. 3. Трещина в сварном соединении



Рис. 4. Трещина в корпусе задвижки

Главная причина утечек связана с тем, что сальник, который в свою очередь должен быть набит специальной набивкой, на самом деле набит обычной паклей, смазанной солидолом, либо графитовой смазкой. Такая набивка недолговечна и несёт за собой соответствующую

щие последствия, поэтому очень часто утечки газа обнаруживаются из-под прокладки через сальник.

Принимая во внимание, что сквозные повреждения трубопровода и арматуры, нарушение герметичности уплотнений имеют самые различные разряды, был разработан критерий величины разрушения газопровода, который будет выражать в общей сложности все типы повреждения, как отношение геометрической площади повреждения к площади поперечного сечения трубы (рис. 3 и 4). Такой подход позволяет дать градацию величины повреждения:

1) максимально возможное повреждение – полный разрыв сварного соединения, когда площадь отверстия повреждений равна площади поперечного сечения;

2) большое повреждение – площадь отверстия составляет 0,75-0,5 площади поперечного сечения;

3) среднее повреждение – площадь отверстия равна 0,5-0,125 площади поперечного сечения.

**Вывод.** Наиболее опасные причины и факторы, которые способствуют возникновению аварий на газораспределительной сети, являются: эксплуатационные дефекты, брак строительно-монтажных работ, а также заводской брак труб, не выявленных в ходе испытаний при введении газопровода в эксплуатацию, развитие коррозии, некачественное выполнение ремонтных работ и самая главная причины исходя из статистики это механические повреждения трубопровода [9-17].

Для того, чтобы уменьшить риск появления и развития таких ситуаций и поддержать газотранспортную систему в рабочем состоянии необходимо проводить специализированные мероприятия по снижению и моментальному предотвращению аварийности газопроводов.

#### Библиографический список

1. Брюханов, О. Н. Газоснабжение / О. Н. Брюханов, В. А. Жила, А. И. Плужников. – Москва: РГГУ, 2017. – 448 с.
2. Колпакова, Н. В. Газоснабжение: учеб. пособие / Н. В. Колпакова, А. С. Колпаков. – М-во образования науки Рос. Федерации, Урал. федер. ун-т. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2014. – 200 с.
3. Мелькумов, В. Н. Математическое моделирование диффузионных процессов загрязнения окружающей среды от объектов сжиженного газа / В. Н. Мелькумов, В. С. Турбин, Н. С. Котельников // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2002. – № 6. – С. 62.
4. Мелькумов, В. Н. Расчет нестационарного поля концентраций двухкомпонентной газовой смеси / В. Н. Мелькумов, И. С. Кузнецов // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2006. – Т. 2. – № 6. – С. 125.
5. Хорошилова, Е. Л. Повышение противокоррозионных свойств защиты газонефтепроводов / Е. Л. Хорошилова, Н. А. Петрикеева, Н. М. Попова // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. – 2018. – № 2 (11). – С. 42 – 49.
6. Панов, М. Я. Структурная оптимизация городских систем газоснабжения по критерию оптимальных положений регуляторных пунктов / М. Я. Панов, Ю. В. Суворова // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. – 2012. – № 4 (9). – С. 10-22.
7. Тульская, С. Г. Альтернативная тепловая изоляция резервуаров с помощью жидких керамических теплоизоляционных покрытий / Тульская С.Г., Петров С.А. // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. – 2016. – № 2 (23). – С. 71 – 77.
8. Тульская, С. Г. Ресурсосберегающие технологии биогазовых установок при переработке отходов сельского хозяйства / С. Г. Тульская, К. Г. Мозговая // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. – 2016. – № 1 (2). – С. 21-27.
9. Мелькумов, В. Н. Определение оптимального маршрута трассы газопровода на основе карт стоимости влияющих факторов / В. Н. Мелькумов, И. С. Кузнецов, Р. Н. Кузнецов // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. – 2009. – № 1. – С. 21-27.
10. Панов, М. Я. Структурная оптимизация городских систем газоснабжения по критерию оптимальных положений регуляторных пунктов / М. Я. Панов, Ю. В. Суворова // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. – 2012. – № 4 (9). – С. 10-22.

11. **Панов, М. Я.** Оперативное управление на основе возмущенного состояния городской системы газоснабжения / М. Я. Панов, Г. Н. Мартыненко, А. И. Колосов // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. – 2016. – № 4 (44). – С. 48-55.

12. **Колосов, А. И.** Математическая модель потокораспределения при изотермическом течении вязкого газа / А. И. Колосов, М. Я. Панов, К. В. Зубарев, А. А. Свиридов // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. – 2015. – № 4 (40). – С. 34-41.

13. **Еременко, А. Л.** Расчет топливных балансов города / А. Л. Еременко, Е. Ю. Закурдаева, С. А. Попов // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. – 2018. – № 2 (11). – С. 27-33.

14. **Петрикеева, Н. А.** Экономически целесообразный уровень теплозащиты зданий при работе систем теплогасоснабжения и вентиляции / Н. А. Петрикеева, О. В. Тюленева, Н. Н. Кучеров // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. – 2012. – № 1 (6). – С. 9-12.

15. **Петрикеева, Н. А.** Задача технико-экономической оптимизации при определении толщины теплоизоляционного слоя теплосетей / Н. А. Петрикеева, А. В. Черемисин, А. В. Копытин // Научный журнал строительства и архитектуры. – 2016. – № 1 (41). – С. 21-28.

16. **Мелькумов, В. Н.** Расчет аварийного поступления природного газа в производственное помещение / В. Н. Мелькумов, В. И. Лукьяненко, С. Н. Кузнецов, А. В. Черемисин // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2007. – Т. 3. – № 1. – С. 222-223.

17. **Мартыненко, Г. Н.** Анализ существующей схемы управления газопотоками в городских системах газоснабжения и перспективы ее развития в рамках оперативного управления / Г. Н. Мартыненко, М. Я. Панов // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Инженерные системы зданий и сооружений. – 2005. – № 2. – С. 23-26.

## ANALYSIS OF STATISTICAL DATA ON ACCIDENTS IN GAS SUPPLY SYSTEMS

E. S. Aralov, S. G. Tulskeya, K. A. Sklyarov, D. O. Bugaevsky

*Voronezh State Technical University*

*E. S. Aralov, assistant of Dept. of Heat and Gas Supply and Oil and Gas Business*

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

*S. G. Tulskeya, PhD in Engineering, Assoc. Prof. of the Dept. of Heat and Gas Supply and Oil and Gas Business*

*Russia, Voronezh, tel.: +7(473)271-53-21, e-mail: tcdtnkfj2014@yandex.ru*

*K. A. Sklyarov, PhD in Engineering, Assoc. Prof. of the Dept. of Technosphere and Fire Safety*

*Russia, Voronezh, tel.: +7 (473) 271-59-26, e-mail: stf@vgasu.vrn.ru*

*D. O. Bugaevsky, assistant of Dept. of Heat and Gas Supply and Oil and Gas Business*

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

**Statement of the problem.** Currently, special attention is paid to the statistical component of the accident rate of the gas distribution network. The present task is to identify frequent accidents on the gas pipeline in order to prevent numerous damage to the facilities in the future and reduce the number of unauthorized breakdowns.

**Results.** The dynamics of accidents on gas distribution networks is considered and revealed the main risk factors and causes of accidents.

**Conclusions.** Major accidents occur due to external factors, namely, mechanical damage to underground gas pipelines, damage as a result of natural phenomena, as well as damage to the gas pipeline by road. Based on this, you can see which sources you need to pay attention to in the first place.

**Keywords:** gas pipeline, accident dynamics, gas distribution, accident, gas consumption.

*Для цитирования: Аралов, Е. С.* Анализ статистических данных по аварийности в системах газоснабжения / Е. С. Аралов, С. Г. Тульская, К. А. Складов, Д. О. Бугаевский // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. – 2019. – № 1 (14). – С. 9-14.

*For citation: Aralov, E. S.* Analysis of statistical data on accidents in gas supply systems / E. S. Aralov, S. G. Tulskeya, K. A. Sklyarov, D. O. Bugaevsky // // Gradostroitelstvo. Infrastruktura. Kommunikatsii. – 2019. – № 1 (14). – Pp. 9–14.

УДК 644.62

**КОЭФФИЦИЕНТ ТЕПЛОТДАЧИ ПОЛИПРОПИЛЕНОВЫХ ТРУБОПРОВОДОВ СИСТЕМЫ ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ**

И. Д. Бокало, Д. Н. Китаев, И. Ю. Фильшина, А. И. Козлов

*Воронежский государственный технический университет**И. Д. Бокало, магистрант кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела**Россия, г. Воронеж, тел.: +7(473)271-53-21, e-mail: teplosnab\_kaf@vgasu.vrn.ru**Д. Н. Китаев, канд. техн. наук, доцент кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела**Россия, г. Воронеж, тел.: +7(473)271-53-21, e-mail: dim.kit@rambler.ru**И. Ю. Фильшина, магистрант кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела**Россия, г. Воронеж, тел.: +7(473)271-53-21, e-mail: teplosnab\_kaf@vgasu.vrn.ru**А. И. Козлов, магистрант кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела**Россия, г. Воронеж, тел.: +7(473)271-53-21, e-mail: teplosnab\_kaf@vgasu.vrn.ru*

**Постановка задачи.** При определении теплотерь трубопроводами системы горячего водоснабжения многоквартирных жилых домов необходимо значение коэффициента теплоотдачи от наружной поверхности к окружающему воздуху. Трубопроводы из сополимеров имеют значительное термическое сопротивление и нельзя принимать температуру на поверхности трубопровода равной температуре воды внутри.

**Результаты.** Рассчитаны значения температур на поверхности полипропиленовых трубопроводов. Получено выражение, позволяющее определять коэффициент теплоотдачи в зависимости от наружного диаметра с допустимой точностью инженерных расчетов.

**Выводы.** При использовании рекомендуемых нормами по тепловой изоляции значения коэффициента теплоотдачи, результаты расчета температур имеют среднюю относительную погрешность 2,74 %. Полученные результаты позволяют упростить расчеты с допустимой погрешностью.

**Ключевые слова:** горячее водоснабжение, полипропиленовые трубопроводы, теплопередача, коэффициент теплоотдачи.

**Введение.** В настоящее время в системах отопления, горячего водоснабжения, вентиляции многоквартирных жилых домов используются полимерные трубопроводы [1, 2]. Наиболее часто при проектировании, реконструкции и модернизации жилищного фонда применяют полипропиленовые трубопроводы [3].

Стенки полипропиленовых трубопроводов имеют значительно большую толщину, чем у стальных. Толщина стенки полипропиленовой трубы со стандартным размерным соотношением SDR 6, номинальным наружным диаметром  $d_n = 110$  мм составляет 18,3 мм, тогда как у стальной трубы наружным диаметром 108 мм, этот параметр составляет 3,5÷4,5 мм [4, 5]. Анализируя другие диаметры, можно сказать, что полипропиленовые трубы имеют толщину стенки в среднем в 4÷5 раз больше чем у стальных. Коэффициент теплопроводности трубной стали в зависимости от температуры находится в интервале  $\lambda = 30 \div 80$  Вт/м/°С, а у полипропиленовых труб 0,16÷0,22 Вт/м/°С [4]. Подобные значения  $\lambda < 0,25$  Вт/м/°С [6] относятся к теплоизоляционным материалам. Ввиду большого значения коэффициента теплопроводности стали  $\lambda$ , термическим сопротивлением стенки стальных трубопроводов  $R_{cm}$  пренебрегают, а температуру на поверхности стальных трубопроводов принимают равной температуре среды  $t_c$  [8]. В полипропиленовых трубах этот параметр надо учитывать, т.к. он в среднем составляет  $R_{cm} = 0,35$  м°С/Вт.

Поверхности неизолированных трубопроводов относятся к «серым» телам [7] и они имеют коэффициент излучения в диапазоне  $4,4 \div 5$  Вт/(м<sup>2</sup>К<sup>4</sup>). В таких случаях коэффициент теплоотдачи от горизонтальной трубы к воздуху при естественной конвекции, Вт/(м<sup>2</sup>К) может быть определен по формуле Нуссельта [7]

$$\alpha_k = 1,164 \sqrt[4]{\frac{t_s - t_a}{d}}, \quad (1)$$

где  $t_s$ ,  $t_a$ , – температура поверхности неизолированного трубопровода и окружающей среды соответственно, °С;  $d$  – наружный диаметр трубопровода, м.

При использовании формулы (1) для не стальных трубопроводов температура на поверхности будет отличаться от  $t_s$ , причем разница может быть значительной. При определении температуры на поверхности трубопровода, имеющего значительное термическое сопротивление стенки, необходимо знать коэффициент теплоотдачи к окружающей среде  $\alpha_n$ .

**1. Диапазон изменения коэффициента теплоотдачи.** В большинстве расчетов тепловой изоляции величина коэффициента теплоотдачи от поверхности изоляции к окружающей среде (суммарный коэффициент теплоотдачи конвекцией и излучением) не имеет определяющего влияния [8, 9]. В табл. 1 представлены рекомендуемые значения при прокладке трубопроводов в закрытых помещениях.

Таблица 1

Рекомендуемые значения коэффициентов теплоотдачи  $\alpha_n$ , Вт/(м<sup>2</sup>°С)

Положение трубопровода	Покрытия с малым коэффициентом излучения [8, 9]	Покрытия с высоким коэффициентом излучения [8, 9]	Покрытия с малым коэффициентом излучения [10]	Покрытия с высоким коэффициентом излучения [10]
Горизонтальное	6	10	7	10
Вертикальное	7	11	8	12

К покрытиям с малым коэффициентом излучения относятся покрытия из оцинкованной стали, листов алюминиевых сплавов и алюминия с оксидной пленкой, а с высоким штукатурки, асбестоцементные покрытия, стеклопластики, различные окраски (кроме краски с алюминиевой пудрой). Из табл. 1 следует, что современные нормы и прошлых лет отличаются незначительно, а для горизонтальных трубопроводов с высоким коэффициентом излучения (полипропиленовые трубопроводы) одинаковы и равны 10 Вт/(м<sup>2</sup>°С).

В литературе указывается, что минимальное значение  $\alpha_n = 4$  Вт/(м<sup>2</sup>°С) принимается при малых значениях температурных перепадов, низком коэффициенте излучения поверхности, при теплоотдаче в углах [9]. Температура горячей воды по нормам должна находиться в интервале от 60 до 75 °С. Допустимые температуры внутреннего воздуха в помещениях кухни и ванных комнат, где проходят стояки системы горячего водоснабжения в холодный период года находятся в диапазоне 17÷26 °С [11]. Температура воздуха в подвальных помещениях не нормируется, но по данным энергоаудита составляет от 0 до 25 °С [12, 15]. В таких условиях перепады температур будут находиться для жилых помещений в интервале 49÷58 °С, а для подвалов 50÷75 °С (без учета фактических значений температур поверхности). Подобные значения перепадов температур можно отнести к малым, а с учетом того, что магистрали и стояки систем горячего водоснабжения прокладываются близко к поверхностям и в углах, значение  $\alpha_n = 4$  Вт/(м<sup>2</sup>°С) можно рекомендовать к использованию. С другой

стороны, коэффициент излучения полипропилена  $5,251 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К}^4)$  нельзя назвать низким. Однозначно нельзя трактовать использование коэффициента  $\alpha_n = 4$  или  $10 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{°C})$ .

Для температур теплоотдающих поверхностей, лежащих в интервале от 0 до  $150 \text{ °C}$ , коэффициенте излучения от 4,65 до  $5,3 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{°C})$  для цилиндрической поверхности, находящейся в помещении, может быть использована приближенная формула для вычисления  $\alpha_n$ ,  $\text{Вт}/(\text{м}^2\text{°C})$  [9]

$$\alpha_n = 9,4 + 0,052\Delta t. \quad (2)$$

Для приближенных расчетов коэффициента теплоотдачи от стенки к воздуху при температуре наружной поверхности стенки ниже  $150 \text{ °C}$  пригодно уравнение В. П. Линчевского [13]

$$\alpha_n = 9,74 + 0,07\Delta t. \quad (3)$$

В уравнениях (2), (3)  $\Delta t$  представляет собой разность температур наружной поверхности стенки и воздуха,  $\text{°C}$ .

На рисунке представлены результаты расчетов по формулам (2), (3) (линии 1 и 2 соответственно) в интервале разности температур  $49 \leq \Delta t \leq 75 \text{ °C}$ . Максимальное значение коэффициента теплоотдачи в условиях охлаждения трубопроводов горячего водоснабжения составляет 14,99, а минимальное  $11,948 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{°C})$ .

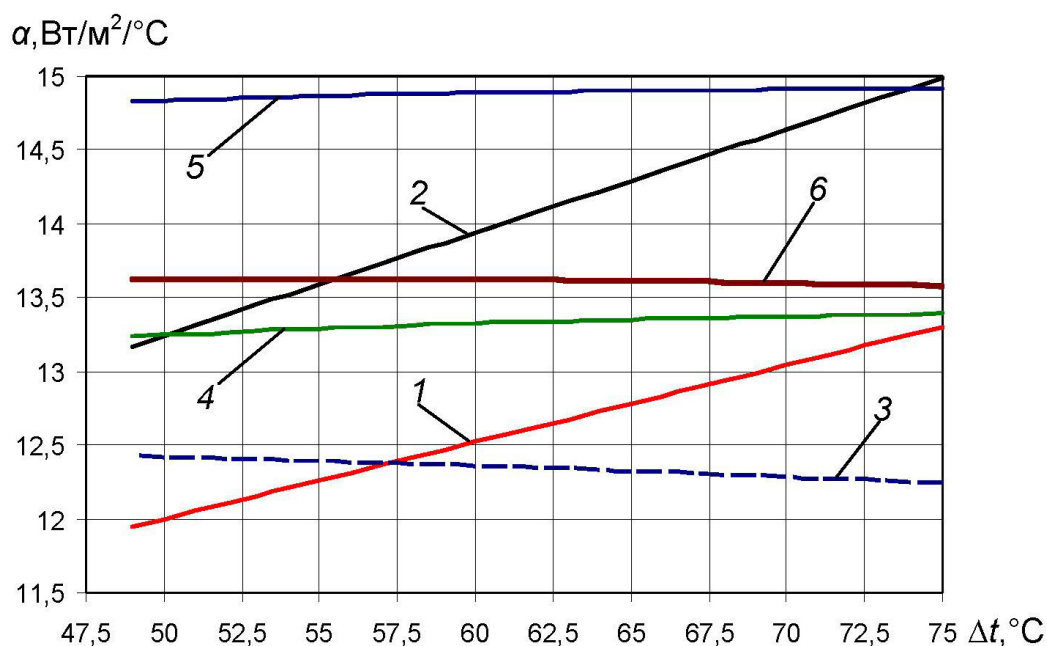


Рис. Результаты расчетов значений коэффициентов теплоотдачи

Из вышесказанного следует, что коэффициент теплоотдачи для рассматриваемых условий может находиться в диапазоне  $4 \leq \alpha_n \leq 15 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{°C})$ , т.е. отличаться практически в 4 раза в крайних значениях перепада температур.

При необходимости точных предварительных расчетов значений рекомендуют рассматривать сумму конвективного коэффициента теплоотдачи  $\alpha_k$  и излучением  $\alpha_l$ . Расчет значения  $\alpha_n$  рекомендуется вести по формуле Стефана-Больцмана, а для горизонтальных трубопроводов  $\alpha_k$  определяют в зависимости от соотношения  $\Delta t d^3$  по формулам:

$$\text{при } \Delta t d^3 > 9,8 \cdot 10^{-2}, \alpha_k = 1,66 \sqrt[3]{\Delta t}, \quad (4)$$

$$\text{при } 6,5 \cdot 10^{-6} < \Delta t d^3 \leq 9,8 \cdot 10^{-2}, \alpha_k = 1,37 \sqrt[4]{\frac{\Delta t}{d}}. \quad (5)$$

Для вертикальных трубопроводов рекомендуется формула:

$$\alpha_k = 1,82 \sqrt[3]{\Delta t}, \quad (6)$$

из которой следует, что коэффициент теплоотдачи вертикально проложенных трубопроводов малого диаметра приблизительно в 1,1 раза больше по сравнению с горизонтальными.

Кривые, построенные по уравнениям (5) для  $d=0,225$  м (линия 3, см. рис.),  $d=0,05$  м (линия 5) и (4) для  $d=0,05$  м (линия 4) в интервале температур  $4 \leq \Delta t \leq 15$  °С с учетом суммы коэффициента  $\alpha_l$ , представлены на рисунке 1. Проведенные расчеты по формуле (4) дают диапазон  $6,074 \leq \alpha_k \leq 7$  Вт/(м<sup>2</sup>°С), а по формуле (5) для диаметров  $d=0,05 \div 0,255$  м  $5,263 \leq \alpha_k \leq 8,526$  Вт/(м<sup>2</sup>°С). К полученным значениям коэффициента теплоотдачи конвекцией прибавлялись коэффициенты теплоотдачи излучением  $\alpha_l$  для отыскания которых использовалась формула Стефана-Больцмана:

$$\alpha_l = \frac{C \left[ \left( \frac{273 + t_n}{100} \right)^4 - \left( \frac{273 + t_e}{100} \right)^4 \right]}{t_n - t_e}, \quad (7)$$

где  $C$  – коэффициент излучения, принятый для стальных поверхностей равным 5,251 Вт/(м<sup>2</sup>К<sup>4</sup>).

Результаты расчетов по формулам (2)-(7) с максимальным значением относительной погрешности 10,049 % можно осреднить значением 13,61 Вт/(м<sup>2</sup>°С) (кривая 6, см. рис.).

**2. Учет температур на поверхности стенки труб.** В выражениях (2)-(7) присутствует значение температуры на поверхности трубопровода (изоляция), но обычно она не известна. Подобные задачи решаются методом последовательных приближений, который был использован в работе для определения искомой величины [14].

Расчет производился по следующему алгоритму.

1. Задаем предварительным значением коэффициента теплоотдачи  $\alpha_{i=1}$ . Полагая, что удельное количество теплоты, отданное теплопроводностью через стенку, равно отданному с поверхности в окружающую среду, рассчитываем температуру на поверхности изоляции по формуле:

$$t_{н.нові} = t_a + \frac{t_c - t_e}{1 + \frac{\alpha_n d_n \ln \frac{d_n}{d_{вн}}}{2\lambda}}. \quad (8)$$

2. Зная температуру на поверхности  $t_{н.нові}$ , проводим расчет по формулам (4) или (5), (7). И определяем суммарное значение уточненного коэффициента теплоотдачи. Определяем значение  $t_{н.нові+1}$  и значение разницы  $\Delta_{нов} = |t_{н.нові+1} - t_{н.нові}|$ . И т.д. пока неравенство  $\Delta_{нов} \leq 0,001$  °С не станет верным.

В табл. 2 представлены результаты расчетов коэффициентов теплоотдачи  $\alpha_n$  и температур на поверхности  $t_{ног}$  полипропиленовых трубопроводов для крайних значений разницы температур и диаметров (столбцы «4» и «5»).

Таблица 2

Результаты расчетов  $\alpha_n$ , Вт/(м<sup>2</sup>°С)

$t_{г},$ °С	$t_{в},$ °С	$d_n,$ мм	$\alpha_n,$ Вт/(м <sup>2</sup> °С)	$t_{ног},$ °С	$\alpha_{i=1} = 11,796 - 0,0094d$			$\alpha_{i=1} = 10$			
					$t_{ногi=1},$ °С	$ t_{ног} - t_{ногi=1} ,$ °С	$\Delta,$ %	$t_{ногi=1},$ °С	$ t_{ног} - t_{ногi=1} ,$ °С	$\Delta,$ %	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
75	26	225	10,134	40,832	41,309	0,477	1,15	40,970	0,138	0,34	
75	26	50	11,753	56,765	57,186	0,421	0,74	58,573	1,808	3,09	
75	0	225	9,623	23,529	23,432	0,097	0,41	22,913	0,616	2,69	
75	0	50	11,538	47,412	47,734	0,322	0,67	49,856	2,444	4,90	
60	26	225	9,589	36,693	36,623	0,070	0,19	36,387	0,306	0,84	
60	26	50	10,918	47,926	47,639	0,287	0,60	48,601	0,675	1,39	
60	0	225	9,2173	19,384	18,746	0,638	3,40	18,330	1,054	5,75	
60	0	50	10,896	38,722	38,187	0,535	1,40	39,885	1,163	2,92	
Среднее							1,07			2,74	

Из табл. 2 следует, что  $9,217 \leq \alpha_n \leq 11,753$  Вт/(м<sup>2</sup>°С), среднее значение составляет 10,485. При реализации численного алгоритма имеет значение задание начального коэффициента теплоотдачи. При задании начального значения  $\alpha_{i=1}=4$  алгоритм с заданной точностью реализуется за 6÷8 итераций, а при  $\alpha_{i=1}=10$  за 4÷5. Для практических расчетов удобно иметь формулу, позволяющую за одну итерацию получить приемлемый результат. Была получена приближенная формула для горизонтальных полипропиленовых трубопроводов наружным диаметром от 50 до 225 мм, позволяющая в диапазоне разницы температур между горячей водой внутри трубы и окружающего воздуха  $49 \leq \Delta t \leq 75$  °С определить суммарный коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности к воздуху:

$$\alpha_n = 11,796 - 0,0094d . \quad (8)$$

Из табл. 2 следует, что при использовании формулы (8) максимальное значение разницы температур на поверхности полученной с первой итерации и точного составляет 0,638 °С, а среднее значение абсолютной погрешности составляет 1,07 %. Использование в первом приближении значения коэффициента  $\alpha_n = 10$ , рекомендуемого нормами по тепловой изоляции, дает менее точные результаты (среднее значение погрешности составляет 2,74 %), но вполне приемлемые для инженерных расчетов.

**Выводы.** На основе анализа свойств полипропилена установлено, что его можно отнести к теплоизоляционным материалам. Необходимо учитывать термическое сопротивление стенки. Проанализированы существующие выражения для определения коэффициента теплоотдачи от поверхности изоляционных материалов к окружающему воздуху. Установлены предельные диапазоны изменения температур горячей воды и окружающей среды при работе системы горячего водоснабжения в циркуляционном режиме, составляющие  $49 \leq \Delta t \leq 75$  °С. Установлено что значение коэффициента теплоотдачи может находиться в диапазоне  $4 \leq \alpha_n \leq 15$  Вт/(м<sup>2</sup>·°С). Методом последовательных приближений получены значения температур на поверхности полипропиленовых трубопроводов для наружных диаметров

$d_n = 50 \div 225$  мм для рассматриваемого диапазона  $\Delta t$ , лежащие в диапазоне  $9,217 \leq \alpha_n \leq 11,753$  Вт/(м<sup>2</sup>·°С). При использовании рекомендуемых нормами по тепловой изоляции значения  $\alpha_n = 10$  Вт/(м<sup>2</sup>·°С), не прибегая к итерационным методам, результаты имеют среднюю относительную погрешность 2,74 %. Получено выражение, позволяющее определять коэффициент теплоотдачи в зависимости от наружного диаметра при использовании которого средняя погрешность не превышает 1,07 % [10-25].

#### Библиографический список

1. Семенов, В. Н. Влияние энергосберегающих технологий на развитие тепловых сетей / В. Н. Семенов, Д. Н. Китаев, Э. В. Сазонов, Т. В. Щукина // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2013. – №8(656). – С.78-83.
2. Китаев, Д. Н. Развитие системы теплоснабжения городского округа город Воронеж в долгосрочной перспективе / Д. Н. Китаев // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. – 2010. – №2. – С. 72-77.
3. Кудрявцев, Л. В. Использование пластиковых труб при капитальном ремонте систем отопления многоквартирных жилых зданий. / Л. В. Кудрявцев // Вестник ВолгГАСУ. Сер.: Стр-во и архит. – 2013. – Вып. 32(51). – С. 130-134.
4. ГОСТ 32415-2013 Трубы напорные из термопластов и соединительные детали к ним для систем водоснабжения и отопления. – М.: Стандартинформ, 2014. – 83 с.
5. ГОСТ 26996-86 Пропилен и сополимеры пропилена. Технические условия. – М.: ИПК издательство стандартов, 2002. – 36 с.
6. Исаченко, В. П. Теплопередача / В. П. Исаченко, В. А. Осипова, А. С. Сукомел. – М.: Издательство «Энергия», 1965. – 424 с.
7. Соколов, Е. Я. Теплофикация и тепловые сети / Е. Я. Соколов. – М.: Издательство МЭИ, 1999. – 472 с.
8. Хижняков, С. В. Практические расчеты тепловой изоляции (для промышленного оборудования и трубопроводов). Изд. 3-е, перераб. – М.: Энергия, 1976. – 200 с.
9. Кузнецов, Г. Ф. Тепловая изоляция / Г.Ф. Кузнецов и др. – М.: Стройиздат, 1985. – 421 с.
10. СП 61.13330.2012 Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов. Актуализированная редакция СНиП 41-03-2003. – М.: Минрегион России, 2012. – 69 с.
11. ГОСТ 30494-2011 Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях. – М.: Стандартинформ, 2011. – 23 с.
12. Китаев, Д. Н. Температурный режим в магистральных стальных трубопроводах горячего водоснабжения при нарушении циркуляции / Д. Н. Китаев, В. Ю. Хузин, В. И. Щербаков, Т. В. Щукина // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2017. – №3(699). – С.26-29.
13. Касаткин, А. Г. Основные процессы и аппараты химической технологии / А. Г. Касаткин – М.: Химия, 1973. – 754 с.
14. Черных, Е. М. Математическая модель конвективного теплопереноса при зарядке теплового аккумулятора / Е. М. Черных, Д. Н. Китаев // Вестник Воронежского технического университета. – 2007. – Т.3. – №6. – С.124-128.
15. Китаев, Д. Н. Охлаждение воды в трубопроводах системы горячего водоснабжения при отсутствии циркуляции / Д. Н. Китаев, В. Ю. Хузин // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. – 2017. – №1(6). – С.9-13.
16. Чуйкина, А. А. Зависимость материальных характеристик тепловой сети от распределения нагрузки / А. А. Чуйкина, А. Р. Бохан, В. В. Покатаева, А. Р. Коломийчук // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. – 2018. – № 3 (12). – С. 16-20.
17. Петрикеева, Н. А. Вариант решения задачи оптимизации толщины теплоизоляционного слоя в теплоснабжении / Н. А. Петрикеева, Д. М. Чудинов, Е. А. Копытина, Л. П. Мышовская // Научный журнал строительства и архитектуры. – 2018. – № 2 (50). – С. 21-28.
18. Сотникова, О. А. Реконструкция инженерного оборудования жилых зданий / О. А. Сотникова, Д. М. Чудинов, Н. А. Петрикеева, Н. М. Попова // Научно-технические проблемы совершенствования и развития систем газоснабжения. – 2018. – № 1. – С. 216-223.
19. Мелькумов, В. Н. Критерии оптимальности и условия сравнения проектных решений систем теплоснабжения / В. Н. Мелькумов, К. А. Скляр, С. Г. Тульская, А. А. Чуйкина // Научный журнал строительства и архитектуры. – 2017. – № 4 (48). – С. 29-37.
20. Чуйкина, А. А. Исследование связи материальных характеристик тепловой сети и момента тепловой нагрузки / А. А. Чуйкина, А. Р. Бохан, К. А. Григорьева // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. – 2018. – № 4 (13). – С. 9-16.

21. **Мелькумов, В. Н.** Влияние планировки функциональных зон городов на развитие систем теплоснабжения / В. Н. Мелькумов, С. Н. Кузнецов, С. Г. Тульская, А. А. Чуйкина // Научный журнал строительства и архитектуры. – 2019. – № 1 (53). – С. 116-123.

22. **Петрикеева, Н. А.** Децентрализация как способ реконструкции инженерных систем зданий и сооружений / Т. Ю. Гладышева, Н. А. Петрикеева, Т. М. Заид // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. – 2017. – № 1 (6). – С. 14-18.

23. **Петрикеева, Н. А.** Задача технико-экономической оптимизации при определении толщины теплоизоляционного слоя теплосетей / Н. А. Петрикеева, А. В. Черемисин, А. В. Копытин // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. – 2016. – № 1 (41). – С. 21-28.

24. **Петрикеева, Н. А.** Оптимизация стоимостной целевой функции при определении толщины изоляции в системах теплоснабжения / Н. А. Петрикеева, А. В. Копытин, Н. О. Попов // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. – 2016. – № 2 (3). – С. 26-33.

25. **Мелькумов, В. Н.** Мониторинг надежности тепловых сетей / В. Н. Мелькумов, С. Н. Кузнецов, К. А. Скляр, А. А. Горских // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. – 2010. – № 1 (17). – С. 52-58.

## COEFFICIENT OF HEAT RECOVERY OF POLYPROPYLENE PIPELINES OF THE HOT WATER SUPPLY SYSTEM

I. D. Bokalo, D. N. Kitaev, I. Y. Filshina, A. I. Kozlov

---

*Voronezh State Technical University*

*I. D. Bokalo, 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*

*D. N. Kitaev, PhD in Engineering, Assoc. Prof. of the Dept. of Heat and Gas Supply and Oil and Gas Business*

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

*I. Y. Filshina, master of Dept. of Heat and Gas Supply and Oil and Gas Business*

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

*A. I. Kozlov, master of Dept. of Heat and Gas Supply and Oil and Gas Business*

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

---

**Statement of the problem.** When determining the heat loss by pipelines of the hot water supply system of apartment residential buildings, the value of the heat transfer coefficient from the outer surface to the ambient air is necessary. Copolymer pipelines have significant thermal resistance and the temperature on the surface of the pipe-line cannot be taken to be equal to the temperature of the water inside.

**Results.** Calculated values of temperatures on the surface of polypropylene pipelines. An expression is obtained that allows one to determine the heat transfer coefficient depending on the outer diameter with an allowable accuracy of engineering calculations.

**Conclusions.** When using the values of the heat transfer coefficient recommended by the standards for thermal insulation, the results of calculating temperatures have an average relative error of 2.74%. The obtained results allow us to simplify calculations with an admissible error.

**Keywords:** hot water supply, polypropylene pipelines, heat transfer, heat transfer coefficient.

*Для цитирования: Бокало, И. Д.* Коэффициент теплоотдачи полипропиленовых трубопроводов системы горячего водоснабжения / И. Д. Бокало, Д. Н. Китаев, И. Ю. Фильшина, А. И. Козлов // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. – 2019. – № 1 (14). – С. 15-21.

*For citation: Bokalo, I. D.* Coefficient of heat recovery of polypropylene pipelines of the hot water supply system / I. D. Bokalo, D. N. Kitaev, I. Y. Filshina, A. I. Kozlov // Gradostroitelstvo. Infrastruktura. Kommunikatsii. – 2019. – № 1 (14). – Pp. 15–21.

УДК 621.791.755

## ПОВЫШЕНИЕ ПРОТИВОКОРРОЗИОННЫХ СВОЙСТВ НЕФТЕХИМИЧЕСКОГО И ГАЗОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Е. Г. Усачёв, А. В. Добычин, М. М. Островская, Н. А. Петрикеева

*Воронежский государственный технический университет*

*Е. Г. Усачёв, магистрант кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела*

*Россия, г. Воронеж, тел.: +7(999) 720-57-46, e-mail: eugeniusachev36@gmail.com*

*ООО НПО «Нефтегаздеталь»*

*А. В. Добычин, зам. главного конструктора*

*Россия, г. Воронеж, тел.: +7(473) 239-29-81, e-mail: constr@neftegd.com*

*Воронежский государственный технический университет*

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

*Россия, г. Воронеж, тел.: +7(473)271-53-21, e-mail: petrikeeveva.nat@yandex.ru*

*Н. А. Петрикеева, канд. техн. наук, доцент кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела*

*Россия, г. Воронеж, тел.: +7(952)101-72-96, e-mail: petrikeeveva.nat@yandex.ru*

**Постановка задачи.** Повышение надежности современной техники, снижение себестоимости ее обслуживания, обеспечение конкурентоспособности, продление ресурса эксплуатации, а также ее реновация путем применения современных технологий для восстановления работоспособности изношенных узлов – наиболее приоритетные направления развития техники.

**Результаты.** По результатам анализа Российского рынка оборудования, метод наплавки и напыления в основном применяется на деталях с большими проходными диаметрами. Было выявлено несколько перспективных направлений наплавки и напыления для нефтехимического оборудования. Сформулированы общие рекомендации по решению данной задачи.

**Выводы.** Повышение требований к покрытию обуславливает более высокие требования к оборудованию, которое должно автоматически поддерживать постоянными технологические режимы напыления. Это осуществляется при помощи компьютерной системы автоматического управления с применением робототехники для обеспечения и контроля взаимного перемещения распылителя и детали. Новейшие разработки позволяют максимально точно воспроизводить процесс газотермического напыления. Применение компьютерных технологий делает рабочий процесс напыления максимально удобным для проведения контроля и наблюдения.

**Ключевые слова:** клапан – отсекатель, наплавка, напыление, коррозия, сталь, материалы.

**Введение.** Во время эксплуатации газонефтехранилищ возникает потребность в исправной, цикличной работе всего комплекса установок, что напрямую зависит от оборудования, находящегося на насосно-компрессорных трубах и обеспечивающего стабильную подачу флюида из скважины в газонефтехранилище. При эксплуатации оборудования возникает потребность в его защите от воздействия активных элементов добываемого флюида или технологических жидкостей. При взаимодействии оборудования с активным веществом на нем образуются различные виды коррозии [1-4]. Это выводит из строя и отдельные элементы, и оборудование в целом. Так, например, одним из важных элементов эксплуатируемого оборудования, непосредственно контактирующего с агрессивной средой, является клапан-отсекатель.

Клапан – отсекатель входит в состав колонны насосно-компрессорных труб (далее НКТ).

Он предназначен для герметичного перекрытия проходного сечения лифтовой колонны при возникновении аварийных ситуаций или при проведении технологических операций, требующих отсечения пласта от устья скважины при строительстве, эксплуатации и ремонте газовых и газоконденсатных скважин [5, 6, 12-20]. Является частью системы обеспечения безопасности промысла. Клапан-отсекатель выполняет чрезвычайно важную функцию, образуя последний рубеж защиты от свободного фонтанирования из скважины. Поэтому его исправность и работоспособность стоит на первом месте при эксплуатации хранилищ, скважины, проектировании и изготовлении.

В данной работе рассмотрены возможности использования наплавки и напыления на детали клапана-отсекателя для предотвращения вредного воздействия рабочей и технологической сред.

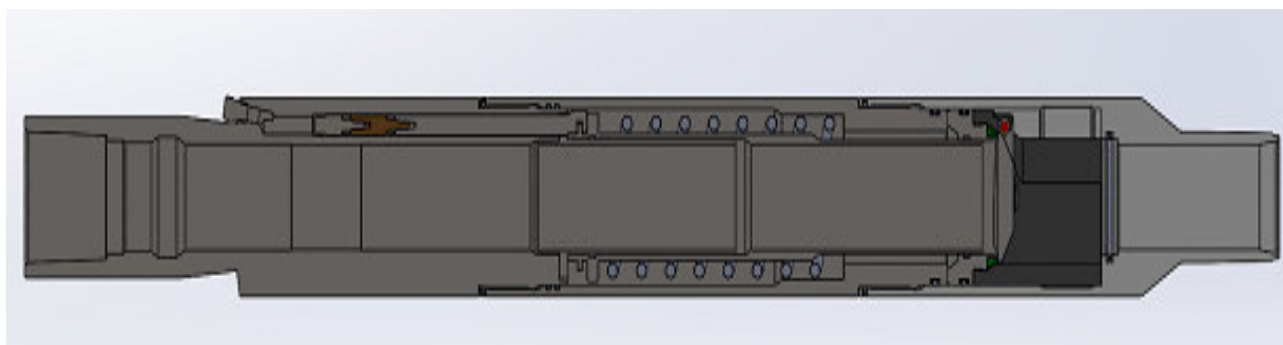
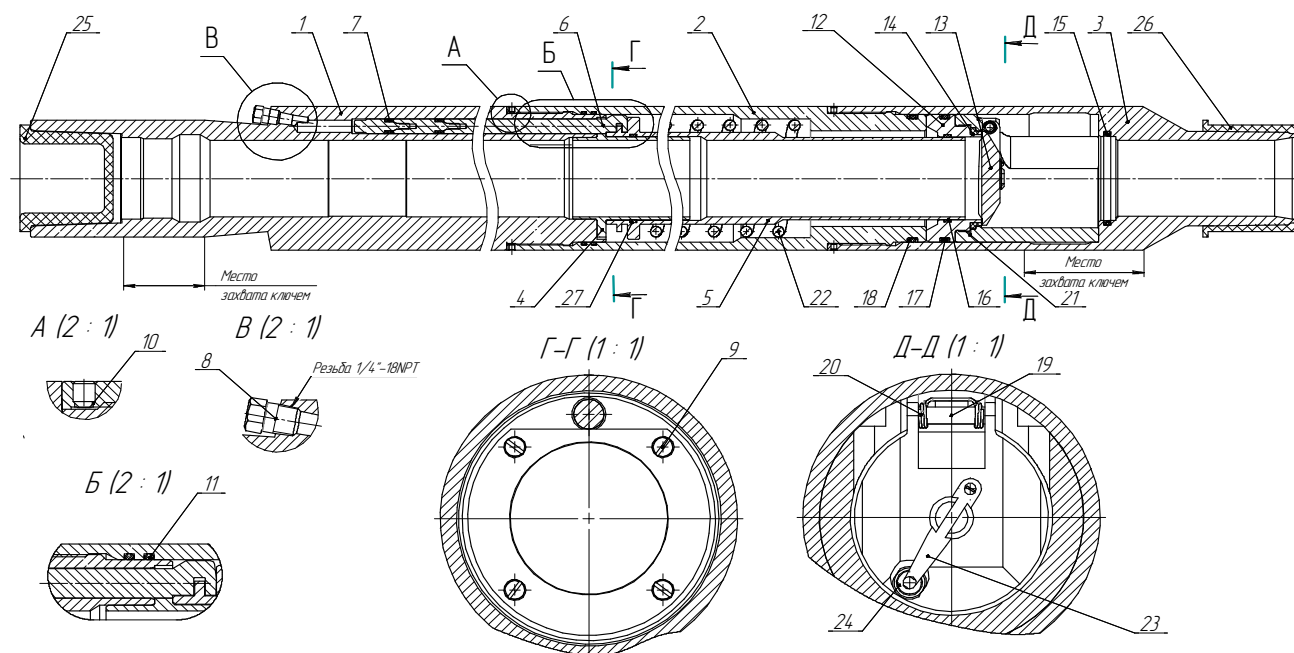


Рис. 1. Клапан – отсекающий в закрытом положении

**1. Конструкция клапана.** Клапан-отсекатель (далее КО) состоит (рис. 2) из корпуса верхнего 1, корпуса пружин 2, и корпуса нижнего 3, собранных на резьбе и застопоренных винтами 10, толкатель 5, соединенный со штоком 6, может перемещаться в продольном направлении относительно корпусных деталей по поверхностям втулки защитной 4 и седла 12. Шток 6 герметизируется в корпусе верхнем 1 уплотнениями 7. Для точного центрирования толкателя при перемещении в нем установлена направляющая 27, направляющая 16 установлена в седле. Направляющие 16 и 27 служат для защиты полости пружины 22 от загрязнений. Шток 6 с манжетами 7 перемещаются в отверстиях корпуса верхнего 1. Пружина 22 создает усилие, действующее на шток 6 через толкатель 4 и поджимающее торец толкателя к торцу корпуса верхнего 1.

Герметичное соединение корпусных деталей клапана-отсекателя обеспечивается уплотнительными кольцами 11, 17, защитными кольцами 18. Клапан, обеспечивающий герметизацию проходного сечения КО состоит из корпуса тарели 21, в который установлена тарель 13 на оси 19 и седло 12 с уплотнением 14. Тарель поджимается к седлу с уплотнением пружиной 20. В тареле установлен перепускной клапан 24 поджатый планкой 23. В нормальном состоянии перепускной клапан закрыт.

Для открытия клапана подается давление управляющей среды  $P_c$  в полость штоков, под действием которого на шток 6 вместе с толкателем 5 начинают перемещаться вправо (вниз) сжимая пружину 22. Первоначально толкатель 5 надавливает на затвор перепускного клапана 24 и отжимает его. Происходит выравнивание давления между полостями за и перед тарелью, усилие, прижимающее тарель к седлу, начинает уменьшаться. При превышении давления толкателя 5 суммы сил давлений газа и сжатия пружины 22, тарель открывается и устанавливается в окно корпуса 21. Толкатель 5 перемещается далее вправо до упора в торец корпуса 3 и герметизируется уплотнением 15. Клапан открывается [7-19].



**Рис. 2.** Схема клапана – отсекаателя: 1 - корпус верхний; 2 - корпус пружины; 3 – корпус нижний; 4 – втулка защитная; 5 – толкатель; 6 – шток; 7 – манжета уплотнения штока; 8 - пробка; 9 – винт; 10 - винт стопорный; 11, 17 - кольцо уплотнительное; 12 - седло; 13 – тарель; 14- уплотнение тарели; 15 – уплотнение толкателя; 16, 27 - направляющие; 18- кольцо защитное; 19 – ось; 20, 22 - пружины; 21- корпус тарели; 23-планка; 24 – перепускной клапан; 25, 26 –заглушка резьбовая

**2. Эксплуатационные особенности оборудования.** При взаимодействии элементов оборудования с активным веществом рабочей среды на нем образуются различные виды коррозии. Различают несколько их разновидностей: сероводородную, углекислотную, кристаллогидратную.

Сероводород является коррозионноактивным кислым газом, оказывает интенсивное разрушающее действие не только на металлические конструкционные материалы, но также и на многочисленные неметаллические материалы (рис. 3). Это создает серьезную опасность для окружающей среды в окрестности скважин (ввиду высокой токсичности сероводорода), а также экологическому равновесию, как на поверхности, так и в недрах в широком смысле этого слова. В условиях повышенных давлений и температур сероводород может переходить из газообразного в жидкое состояние. Переход возможен в пределах температур, не превышающих 100,4 °С. Растворимость газообразного сероводорода в воде при высоком давлении, повышается.

Независимо от продукции, на скважинах и в хранилищах углекислотная коррозия развивается по электрохимическому механизму в результате наличия конденсационных и пластовых вод, сопутствующих природному газу. Растворяясь в водной фазе, электролиту придается кислая реакция. Зависимость скорости углекислотной коррозии от парциального давления в реальном потоке скважин имеет сложный характер. Сначала с повышением парциального давления примерно до 0,3 МПа скорость коррозии быстро возрастает, а затем ее рост замедляется и при 1,2 МПа достигает 5,7 мм/г. Характер зависимости скорости коррозии стали от парциального давления объясняется понижением *pH* раствора [12, 17].



Рис. 3. Сероводородная коррозия: до и после

Углеводородные и некоторые другие газы, контактирующие с водой в определенных условиях давления и температуры, также могут образовывать кристаллогидраты (рис.4). Кристаллогидраты природных газов внешне похожи на мокрый спрессованный снег, переходящий в лед. Они относятся к неустойчивым соединениям и при некоторых условиях (нагревание, понижение давления) быстро разлагаются на газ и воду. Образование гидратов происходит при повышенных давлениях, низкой температуре и тесном контакте гидратообразующих компонентов газа с водой [10, 15].



Рис. 4. Кристаллогидратная коррозия

В настоящее время нефтегазовые компании активно осваивают трудноизвлекаемые запасы нефти и газа, такие как, например, Ачимовские залежи Уренгойского НГКМ. Продукция скважин на этих месторождениях имеет высокое содержание углекислого газа ( $\text{CO}_2$ ), успешно используют обсадные и насосно-компрессорные трубы из стали группы прочности L8013Cg с техническими требованиями по стандарту API5CT.

Нефтяная промышленность РФ активно использует стали марок 12X13, 20X13 ГОСТ 5632-2014 которые являются аналогами L8013Cg и предназначенная для изготовления деталей для агрессивных сред. Для получения высокой коррозионной стойкости указанные стали подвергаются определенной обработке (закалка с отпуском).

Однако, как показала практика, стали типа 12X13, 20X13 не приспособлены к тяжелым условиям эксплуатации. К таким условиям относятся:

- присутствие в рабочей среде углекислого газа;
- присутствие в рабочей среде сероводорода;
- необходимость эксплуатации на месторождениях, находящихся в холодных макро-климатических районах;
- необходимость использования труб и материалов для нефтегазового оборудования с высокой группой прочности;
- высокое пластовое давление (70 МПа и выше);
- высокая температура в глубоких скважинах (до 150 °С и выше).

В большинстве случаев встречается комбинация двух и более вышеназванных условий.

Для устранения негативного влияния условий эксплуатации, производители нефтегазового оборудования используют стали типа «Super 13Cr». Они обладают повышенной коррозионной стойкостью и хорошими прочностными свойствами. Однако их цена по сравнению с легированными и нержавеющей стали на порядок выше, что приводит к значительному удорожанию оборудования [2, 7, 13].

**3. Свойства способа наплавки и напыления.** В современной рыночной экономике, чтобы оборудование было конкурентоспособным, необходимо снижение цены до приемлемого уровня. Выход из сложившейся ситуации и решения данной задачи может быть найден в сочетании изготовления оборудования из высокопрочных легированных сталей (типа: 40ХН2МА ГОСТ4543-71, 40ХНМА ГОСТ4543-71 или др.) и наплавки или напыления поверхностей, контактирующих с рабочей средой [2, 7, 16].

Такой путь представляет значительные резервы экономии дорогостоящего материала. Применение технологии наплавки и напыления расширяет перспективу проектирования и производства различного оборудования с более высоким уровнем эксплуатационных показателей, что, в свою очередь, позволяет сократить затраты денежных средств и повысить производительность оборудования в различных условиях эксплуатации.

Сущность способа наплавки заключается в следующем: нанесение слоя расплавленного металла на оплавленную металлическую поверхность путём плавления присадочного материала теплотой кислородно-ацетиленового пламени, электрической или плазменной дуги и др. Наплавка предназначена для восстановления изношенных деталей и создания на поверхности изделия слоя, обладающего повышенной износостойкостью, коррозионной стойкостью, жаропрочностью и другими свойствами [2, 7].

В настоящее время наплавка и напыление активно применяются при изготовлении наземного нефтегазового оборудования, а для изготовления подземного оборудования, такого как клапан-отсекатель, не применялось ввиду небольших внутренних диаметров деталей и больших длин [14, 17-24]. При совершенствовании технологии и оборудования для наплавки и напыления открываются новые перспективы для изготовления недорогого подземного оборудования, таких как клапан-отсекатель, с высокими эксплуатационными характеристиками для работы в тяжелых условиях.

**Выводы.** Для обеспечения долговечности и исправной эксплуатации отдельных элементов оборудования, например, таких как клапан-отсекатель (рис. 2), требуются повышенные механические свойства проточной части основных узлов, таковыми являются позиция 5, 1 и 3 представленные на чертеже. На позициях 1 (корпус верхний) и 5 (толкатель), наплавку или напыление стоит наносить по всей внутренней поверхности детали, а на позиции 3 (корпус нижний), поверхность обрабатывается до уплотнения толкателя. Таким образом, при использовании наплавки или напыления на внутренние поверхности оборудования возможно увеличение сроков его эксплуатации и производительности всего комплекса оборудования. Наличие наплавки и напылений на оборудовании увеличивает ресурс изделия, однако слож-

ность этой технологии заключается в нанесении на труднодоступные элементы конструкции, что напрямую связано с их линейными размерами.

#### Библиографический список

1. **Абубакиров, В. Ф.** Оборудование буровое, противовыбросовое и устьевое / В. Ф. Абубакиров, В. Л. Архангельский, Ю. Г. Буримов, А. Н. Гноевых // М.: ООО «ИРЦ Газпром». – 2007. – 732 с.
2. **Бадаев, Л. Г.** Реновация и упрочнение деталей машин методами газотермического напыления // М.: Издательство «КХТ». – 2004. – 134 с.
3. **Волкова, Ю. В.** Технологические схемы очистки дымовых газов от оксидов серы / Ю. В. Волкова, Н. А. Петрикеева // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. – 2012. – № 2. – С. 10-13.
4. **Гладышева, Т. Ю.** Децентрализация как способ реконструкции инженерных систем зданий и сооружений / Т. Ю. Гладышева, Н. А. Петрикеева, Т. М. Заид // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. – 2017. – № 1 (6). – С. 14-18.
5. ГОСТ ISO 10417-2014 Системы скважинных предохранительных клапанов. Проектирование, установка, эксплуатация и восстановление. – 2015 – 11 с.
6. ГОСТ ISO 10432-2014 Нефтяная и газовая промышленность. Оборудование скважинное. Скважинный предохранительный клапан с оснасткой. Общие технические требования. – 2015 – 65 с.
7. **Клюев, О. А.** Холодное напыление металлических покрытий / О. Клюев, А. Каширин // Портал журнала «Наука и жизнь». – №2. – 2018. – С. 14-19.
8. **Кузнецов, С. Н.** Экологическая безопасность воздушной среды помещений с выделением вредных веществ различной плотности / С. Н. Кузнецов, Н. А. Петрикеева // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. – 2013. – № 1 (29). – С. 82-90.
9. **Петрикеева, Н. А.** Влияние инсоляции на интенсивность теплопоступлений в жилые помещения / Н. А. Петрикеева, Л. В. Березкина // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. – 2010. – № 2 (3) – С. 100-103.
10. **Петрикеева, Н. А.** Зависимость концентрации оксидов азота от величины теплопотерь с уходящими дымовыми газами теплогенерирующих установок / Н. А. Петрикеева, Л. В. Березкина, А. И. Колосов // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. – 2010. – № 2 (18). – С. 121-125.
11. **Петрикеева, Н. А.** Задача технико-экономической оптимизации при определении толщины теплоизоляционного слоя теплосетей / Н. А. Петрикеева, А. В. Черемисин, А. В. Копытин // Научный журнал строительства и архитектуры. – 2016. – № 1 (41). – С. 21-28.
12. **Петрикеева, Н. А.** Использование теплоты конденсации продуктов сгорания теплогенерирующих установок систем теплоснабжения / Н. А. Петрикеева, О. С. Цуканова, Д. А. Письменный // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. – 2009. – № 1 (1). – С. 107-113.
13. **Петрикеева, Н. А.** Оптимизация стоимостной целевой функции при определении толщины изоляции в системах теплоснабжения / Н. А. Петрикеева, А. В. Копытин, Н. О. Попов // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. – 2016. – № 2 (3). – С. 26-33.
14. **Попов, Н. О.** Определение оптимальной толщины теплоизоляционного слоя трубопроводов систем теплоснабжения / Н. О. Попов, Н. А. Петрикеева, А. В. Копытин // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. – 2015. – № 1 (18). – С. 15-22.
15. **Сотникова, О. А.** Математическая модель процессов конденсации водяных паров на теплообменных поверхностях / О. А. Сотникова, Н. А. Петрикеева, В. С. Турбин // Известия Тульского государственного университета. Серия «Строительство, архитектура и реставрация». – 2006. – № 10. – С. 159.
16. **Турбин, В. С.** Методика технико-экономического обоснования схем теплогенерирующих установок с напорными теплоутилизаторами / В. С. Турбин, Н. А. Петрикеева // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2006. – № 6. – С. 120-122.
17. **Хасуи, А.** Наплавка и напыление / Под ред. В. С. Степина, Н. Г. Шестеркина. М.: Машиностроение. – 1985. – 240 с.
18. **Хорошилова, Е. Л.** Повышение противокоррозионных свойств защиты газонефтепроводов / Е. Л. Хорошилова, Н. А. Петрикеева, Н. М. Попова // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. – 2018. – № 2 (11). – С. 42-49.
19. **Цуканова, О. С.** Проблема борьбы с шумом. История и основные направления развития методов снижения уровня шума / О. С. Цуканова, Н. А. Петрикеева // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. – 2009. – № 1. – С. 67-74.
20. **Вернигора, В. В.** Оценка сложности добычи нефти на российском шельфе / В. В. Вернигора, Н. А. Петрикеева, Д. М. Чудинов // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. – 2017. – № 4 (9). – С. 52-58.

21. **Куликова, Е. А.** Оптимизация работы энергосистем. Определение вероятного ущерба от перерывов энергоснабжения / Е.А. Куликова, Н.М. Попова, Н.В. Коротких, Н.А. Петрикеева // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. -2018. -№ 4 (13). - С. 29-36.

22. **Кожухов, Р. О.** Экологические аспекты при передаче высоковольтной электрической энергии / Р.О. Кожухов, Н.А. Петрикеева // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. - 2015. - № 2. - С. 47-51.

23. **Китаев, Д. Н.** Прогнозирование гидравлических характеристик газопроводных сетей на газораспределительных пунктах / Е. О. Михайлова, Д. Н. Китаев // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. - 2017. - № 3 (8). - С. 23-29.

24. **Мартыненко, Г. Н.** Перспективы развития системы газоснабжения городского округа г. Воронеж на период до 2035 г. / Г. Н. Мартыненко, Д. Н. Китаев // Научный журнал строительства и архитектуры. - 2018. - №3(51). - С. 11-21.

## IMPROVING THE ANTI-CORROSION PROPERTIES OF PETROCHEMICAL AND GAS EQUIPMENT

E. G. Usachev, A. V. Dobichin, M. M. Ostrovskaya, N. A. Petrikeeva

---

*Voronezh State Technical University*

*E. G. Usachev, master of Dept. of Heat and Gas Supply and Oil and Gas Business*

*Russia, Voronezh, tel.: +7(999)720-57-46, e-mail: eugeniussachev36@gmail.com*

*LLC NPO «Neftegazdetal»*

*A. V. Dobichin, deputy chief constructor*

*Russia, Voronezh, tel.: +7(473)239-29-81, e-mail: constr@neftegd.com:*

*Voronezh State Technical University*

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

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

*N. A. Petrikeeva, Ph. D. in Engineering, Assoc. Prof. of Dept. of Heat and Gas Supply and Oil and Gas Business*

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

---

**Statement of the problem.** Improving the reliability of modern technology, reducing competitiveness, ensuring competitiveness, expanding operating resources, as well as applying it with the use of modern technologies for restoring performance from new nodes to the level of new products are the top priorities for the development of technology.

**Results.** According to the analysis of the Russian equipment market, the method of surfacing and spraying is mainly used on parts with large diameters, and several promising areas of surfacing and spraying for petrochemical equipment have been identified. Formulated general recommendations for solving this problem.

**Conclusions.** Increasing requirements for coatings imposes higher requirements on equipment, which should automatically maintain a constant technological modes of spraying. This is done using a computer-based automatic control system using robotics to provide and control the mutual movement of the sprayer and the part. The latest developments allow to reproduce the process of gas-thermal spraying as accurately as possible. The use of computer technology makes spraying workflow as convenient as possible for monitoring and monitoring.

**Keywords:** safety valve, surfacing, spraying, corrosion, steel, materials.

*Для цитирования: Усачев, Е. Г.* Повышение противокоррозионных свойств нефтехимического и газового оборудования / Е. Г. Усачёв, А. В. Добычин, М. М. Островская, Н. А. Петрикеева // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. - 2019. - № 1 (14). - С. 22-28.

*For citation: Usachev, E. G.* Improving the anti-corrosion properties of petrochemical and gas equipment / E. G. Usachev, A. V. Dobichin, M. M. Ostrovskaya, N. A. Petrikeeva // Gradostroitelstvo. Infrastruktura. Kommunikatsii. - 2019. - № 1 (14). - Pp. 22-28.

УДК 62-621.2

## КОЭФФИЦИЕНТ СЖИМАЕМОСТИ ПРИРОДНОГО ГАЗА РАСЧЕТНОГО СОСТАВА

Д. Н. Китаев, Д. О. Недобежкин, В. М. Богданов, Бейманов Т.

*Воронежский государственный технический университет*

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

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

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

*Т. Бейманов, магистрант 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 расчете оборудования систем газоснабжения приходится определять коэффициент сжимаемости газа с учетом реальных свойств [1, 2]. Для этого необходимо выполнить большой объем вычислений. Справочные значения коэффициента сжимаемости ограничены температурой – 23,15 °С. Для практических расчетов необходимо получить значения при меньших температурах и выражения с допустимой точностью позволяющие рассчитать его в широком диапазоне изменения температуры и давления газа.

**Результаты.** Получены уравнения зависимости коэффициента сжимаемости природного газа расчетного состава от давления и температуры, позволяющие определить значение  $z$  с погрешностью не более 1 %.

**Выводы.** Полученные значения коэффициента сжимаемости дополняют справочные данные, а предложенные уравнения могут быть использованы при расчете показателей компрессоров с допустимой точностью.

**Ключевые слова:** природный газ, реальный газ, коэффициент сжимаемости.

**Введение.** В основе расчета мощности центробежных компрессоров на компрессорных станциях, показателей их эффективности, является термодинамический анализ процесса сжатия газа. При этом необходимо учитывать свойства реального газа [3, 4]. Одним из важнейших термодинамических показателей газовой среды является коэффициент сжимаемости газа  $z$  [5, 6]. В действующих методиках ПАО «Газпром» большое распространение получило использование модифицированного уравнения состояния «Бенедикта-Вэбба-Рабина» (BWR), представленное в приведенной формуле:

$$z = 1 + \left( \frac{a_1}{\tau} - \frac{a_2}{\tau^2} - \frac{a_3}{\tau^4} \right) \frac{\pi}{z} + \left( \frac{a_4}{\tau^2} - \frac{a_6}{\tau^3} - \frac{a_6}{\tau^5} \right) \frac{\pi^2}{z^2}, \quad (1)$$

где  $a_1 \dots a_6$  – постоянные коэффициенты, зависящие от состава газа;  $\pi$ ,  $\tau$  – приведенные давление и температура соответственно, определяемые по формулам:

$$\pi = \frac{P}{P_{кр}}, \quad (2)$$

$$\tau = \frac{T}{T_{кр}}, \quad (3)$$

где  $P_{кр}$ ,  $T_{кр}$  – среднекритические (псевдокритические) параметры газа, определяемые по формулам:

$$P_{кр} = \sum_{i=1}^n P_{кр_i}, \quad (4)$$

$$T_{кр} = \sum_{i=1}^n T_{кр_i}, \quad (5)$$

Для определения коэффициента  $z$  необходимо провести предварительные расчеты по уравнениям (2)-(5), а затем вернуться и решить уравнение (1). Уравнение (1) является кубическим относительно коэффициента сжимаемости и для его решения могут быть использованы формулы Кардано или численные методы [7]. Методики требуют отыскивать значения коэффициента  $z$  для входа и выхода из нагнетателя [5], т.е. необходимо провести большой объем вычислений.

**1. Расчет коэффициентов сжимаемости для газа.** При расчете параметров компрессоров магистральных газопроводов принято пользоваться расчетным природным газом, под которым понимается смесь индивидуальных газов условного состава, не содержащая жидких и твердых золь [6]. Компрессорные станции магистральных газопроводов работают преимущественно в диапазонах температур  $-50 \leq t \leq 50$  °С и давлений  $3 \leq p \leq 10$  МПа [8, 9]. Коэффициенты уравнения (1) для расчетного природного газа (ГСССД 160-93), имеющего компонентный состав, представленный в табл.1 имеют значения:  $a_1 = 0,1237$ ,  $a_2 = 0,3468$ ,  $a_3 = 0,1188$ ,  $a_4 = 0,0291$ ,  $a_5 = 0,0273$ ,  $a_6 = 0,0390$ .

Таблица

Значения потребленной теплоты за отопительный период

Газ	CH <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	CO <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>
Доля	98,63	0,12	0,02	0,10	1,01	0,12

Были проведены расчеты по уравнениям (2)-(4). Численно решалось уравнение (1) в диапазоне температур  $-50 \leq t \leq 50$  °С с шагом 10 °С и давлений  $3 \leq p \leq 10$  МПа с шагом 1 МПа с точностью 0,0009. По результатам расчетов построены зависимости коэффициента  $z$  от давления (рис. 1) и температуры (рис. 2). Из рис. 1 и 2 следует, что в указанных условиях расчета значение коэффициента сжимаемости может лежать в диапазоне  $0,50101 \leq z \leq 0,96101$ .

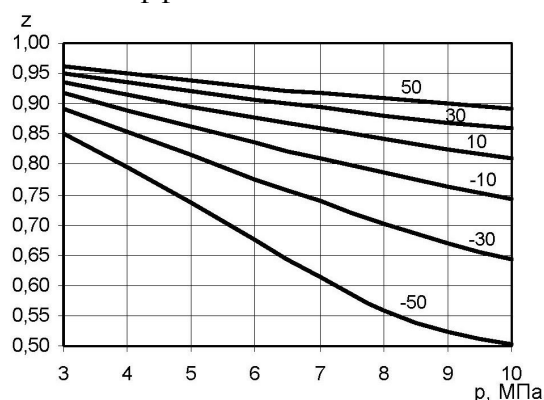


Рис.1. Зависимость коэффициента  $z$  от давления  $p$  и температуры  $-50 \leq t \leq 50$  °С

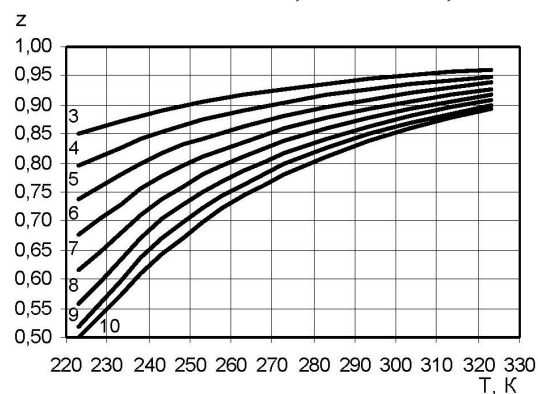


Рис.2. Зависимость коэффициента  $z$  от температуры  $T$  и давления  $3 \leq p \leq 10$  МПа

**2. Результаты вычислений коэффициента сжимаемости газа в зависимости от температуры и давления.** Была получена приближенная формула [10], позволяющая определить значение коэффициента сжимаемости газа расчетного состава в зависимости от температуры и давления для указанных диапазонов, имеющая вид:

$$z = (-4,013t^2 + 413,9t - 21130)10^{-6} p + 0,99213, \quad (6)$$

где  $t$  – температура газа, °С;  $p$  – давление газа, МПа.

В нормативе ГСССД 160-93 приведены точные значения коэффициента  $z$  для интервала температур от 250 до 450 К (13 значений) и давлений 0,1, 0,25, 0,5, 1, 1,5, 2, 2,5, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 12 МПа. В табл.2 представлены результаты расчетов по формуле (6)  $z_{расч}$  и сравнение с табличными значениями  $z_{табл}$  в процентах  $\Delta$  в интервале применимости выражения (6).

Таблица 2

Результаты расчета значений  $z$  по формуле (6)

$t, ^\circ\text{C}$	$z_{табл}$	$z_{расч}$	$\Delta, \%$	$z_{табл}$	$z_{расч}$	$\Delta, \%$	$z_{табл}$	$z_{расч}$	$\Delta, \%$
	$p=3\text{МПа}$			$p=5\text{МПа}$			$p=10\text{МПа}$		
-23,15	0,9005	0,8935	0,773	0,8321	0,8278	0,515	0,6796	0,6635	2,368
-13,15	0,9137	0,9103	0,369	0,8558	0,8558	0,000	0,7288	0,7195	1,281
-3,15	0,9248	0,9247	0,010	0,8754	0,8798	0,498	0,7686	0,7674	0,157
6,85	0,9343	0,9367	0,255	0,8919	0,8997	0,876	0,8014	0,8073	0,736
15	0,941	0,9447	0,389	0,9034	0,9130	1,064	0,8241	0,8339	1,187
20	0,9448	0,9488	0,419	0,9098	0,9198	1,104	0,8365	0,8476	1,322
26,85	0,9495	0,9534	0,411	0,9178	0,9276	1,066	0,852	0,8630	1,295
46,85	0,961	0,9605	0,053	0,9371	0,9394	0,245	0,8889	0,8867	0,252

Из табл. 2 следует, что при значениях  $p=3$  МПа максимальная разница между табличным и расчетным значением составляет 0,773 %, при  $p=5$  МПа – 1,104 %, при  $p=10$  МПа – 2,368 %. Сравнение при других значениях показывает, что максимальное значение разницы составляет 2,36 % а среднее значение 0,633 %. В справочных данных отсутствуют значения  $z$  при температурах меньших  $-23,15$  °С. С целью повышения точности расчетов температурный интервал  $-50 \leq t \leq 50$  °С был разбит на два:  $-50 \leq t < -30$  °С;  $-30 \leq t < 50$  °С. Для каждого интервала были получены приближенные формулы. В табл. 3 представлены полученные выражения, области их применимости и точность вычисления в диапазоне давлений  $3 \leq p \leq 10$  МПа. В таблице 3 использованы обозначения:  $\Delta_{max}$  - максимальное отклонение расчетного значения от точного, %;  $T_{max}, p_{max}$  – значение температуры, °С и давления, МПа при которых наблюдаются максимальное отклонение;  $\Delta_{ср}$  - среднее значение отклонения, %.

Таблица 3

Выражения для определения коэффициента  $z$ 

Интервал температур	Выражение	$\Delta_{max}, \%$	$T_{max}, p_{max}$	$\Delta_{ср}, \%$
$-50 \leq t \leq 50$ °С	$z = (-4,013t^2 + 413,9t - 21130)10^{-6} p + 0,99213$	5,896	-50,10	1,039
$-50 \leq t < -30$ °С	$z = (-5,909t^2 + 353,9t - 20140)10^{-6} p + 0,9978, \quad (7)$	3,018	-40,10	0,913
$-30 \leq t < 50$ °С	$z = (-3,089t^2 + 384,3t - 21520)10^{-6} p + 0,9896, \quad (8)$	1,692	-30,10	0,418

По формулам (7) и (8) были проведены расчеты для нерасчетного состава газа с содержанием метана  $\text{CH}_4 \geq 95\%$ . При этом погрешность расчета составляла не более 5 %.

**Выводы.** На основе модели состояния реального газа «Бенедикта-Вэбба-Рабина» в приведенной форме численным методом получены значения коэффициентов сжимаемости для интервала температур от  $-50$  до  $-23,15$  °С и давлений от 3 до 10 МПа, дополняющие справочные данные. Найдено уравнение зависимости коэффициента сжимаемости природного газа расчетного состава от давления и температуры, позволяющие определить значение  $z$  в диапазоне  $-50 \leq t \leq 50$  °С и  $3 \leq p \leq 10$  МПа со средним значением погрешности 1 %. Получены уравнения зависимости коэффициента сжимаемости природного газа расчетного состава от давления и температуры для  $3 \leq p \leq 10$  МПа, и диапазонов температур  $-50 \leq t < -30$  °С,  $-30 \leq t < 50$  °С позволяющие определить значение  $z$  со средним значением погрешности 0,418 и 0,913 % соответственно. Представленные уравнения с погрешностью, не превышающей 5 % могут быть использованы для нерасчетного состава природного газа с содержанием метана  $\text{CH}_4 \geq 95\%$  [11-20].

#### Библиографический список

1. Михайлова, Е. О. Прогнозирование гидравлических характеристик газопроводных сетей на газораспределительных пунктах / Е. О. Михайлова, Д. Н. Китаев // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. – 2017. – №3(8). – С. 23-29.
2. Мартыненко, Г. Н. Перспективы развития системы газоснабжения городского округа г. Воронеж на период до 2035г. / Г. Н. Мартыненко, Д. Н. Китаев // Научный журнал строительства и архитектуры. – 2018. – №3(51). – С. 11-21.
3. Курносоев, А. Т. Техническая термодинамика / А. Т. Курносоев, Д. Н. Китаев. Учеб. пособие. Воронеж. гос. арх.-строит. ун-т. – Воронеж, 2007. – 110 с.
4. Копытина, М. Ю. Диагностика загрязнения окружающей среды и комплексный подход к ее защите / М. Ю. Копытина, Д. Н. Китаев, Т. В. Шукина, Е. А. Алойкова // Экология и промышленность России. – 2017. – Т.21. №4. – С. 59-63.
5. Щуровский, В. А. Методические указания по проведению теплотехнических и газодинамических расчетов при испытаниях газотурбинных газоперекачивающих агрегатов. / В. А. Щуровский и др. // М.: ВНИИ-газ, 1999. – 29 с.
6. ГОСТ 23194-83 Нагнетатели центробежные для транспортирования природного газа. Основные параметры. М. Издательство стандартов. – 1983. – 4 с.
7. Корн, Г. Справочник по математике для научных работников и инженеров / Г. Корн, Т. Корн. М. Изд.-во «Наука». – 1968. – 720 с.
8. Хворов, Г. А. Анализ энергосберегающих технологий охлаждения газа на основе аппаратов воздушного охлаждения в транспорте газа ПАО «Газпром» / Г. А. Хворов, М. В. Юмашев // Территория «НЕФТЕГАЗ». – 2016. – №9. – С. 127-132.
9. Шелудько, Л. П. Газоохладительная установка для компрессорных цехов магистральных газопроводов / Л. П. Шелудько, С. А. Гулина, И. Ю. Горюнова, Г. В. Власов // Вестн. Самар. гос. техн. ун-та. Сер. Технические науки. – 2018. – №1(57). – С. 117-127.
10. Китаев, Д. Н. Нелинейная зависимость теплоемкости идеального газа от температуры / Д. Н. Китаев, Е. М. Черных // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2018. – Т.4. – №12. – С. 36-40.
11. Панов, М. Я. Использование системы matlab для моделирования процесса управления функционированием систем газоснабжения / М. Я. Панов, Г. Н. Мартыненко, В. В. Ухлова, А. И. Колосов // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. – 2017. – № 1 (367). – С. 239-243.
12. Панов, М. Я. Оперативное управление на основе возмущенного состояния городской системы газоснабжения / М. Я. Панов, Г. Н. Мартыненко, А. И. Колосов // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. – 2016. – № 4 (44). – С. 48-55.
13. Колосов, А. И. Математическая модель потокораспределения при изотермическом течении вязкого газа / А. И. Колосов, М. Я. Панов, К. В. Зубарев, А. А. Свиридов // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. – 2015. – № 4 (40). – С. 34-41.
14. Колосов, А. И. Математическое моделирование процесса реструктуризации городских систем газоснабжения низкой ступени давления / А. И. Колосов, М. Я. Панов // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. – 2013. – № 2 (30). – С. 34-41.

15. **Мелькумов, В. Н.** Повышение надежности внутридомового газового оборудования / В. Н. Мелькумов, Г. А. Кузнецова, М. Я. Панов // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. – 2012. – № 4 (28). – С. 32-40.

16. **Алдалис, Х.** Разработка новой схемы газораспределения и управления функционированием городских систем газоснабжения низкого давления / Х. Алдалис, М. Я. Панов, Г. Н. Мартыненко // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. – 2009. – № 1 (13). – С. 28-36.

17. **Мартыненко, Г. Н.** Анализ существующей схемы управления газопотоками в городских системах газоснабжения и перспективы ее развития в рамках оперативного управления / Г. Н. Мартыненко, М. Я. Панов // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Инженерные системы зданий и сооружений. – 2005. – № 2. – С. 23-26.

18. **Мелькумов, В. Н.** Моделирование структуры инженерных сетей при территориальном планировании города / В. Н. Мелькумов, С. В. Чуйкин, А. М. Папшицкий, К. А. Складов // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. – 2015. – № 2 (38). – С. 41-48.

19. **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.

20. **Кузнецова, Г. А.** Продолжительность эксплуатации внутридомового газового оборудования / Г. А. Кузнецова // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. – 2016. – № 1 (22). – С. 54-58.

## NATURAL GAS COMPOSITION RATIO DESIGN STRUCTURE

D. N. Kitaev, D. O. Nedobezhkin, V. M. Bogdanov, T. Baimanov

---

*Voronezh State Technical University*

*D. N. Kitaev, Ph. D. in Engineering, Assoc. Prof. of Dept. of Heat and Gas Supply and Oil and Gas Business  
Russia, Voronezh, tel.: +7 (473) 271-53-21, e-mail: dim.kit@rambler.ru*

*D. O. Nedobezhkin, graduate student of the Heat and Gas Supply and Oil and Gas Department  
Russia, Voronezh, tel.: +7 (473) 271-53-21, e-mail: teplosnab\_kaf@vgasu.vrn.ru*

*V. M. Bogdanov, master student of the Heat and Gas Supply and Oil and Gas Department  
Russia, Voronezh, tel.: +7 (473) 271-53-21, e-mail: teplosnab\_kaf@vgasu.vrn.ru*

*T. Baimanov, master student of the Heat and Gas Supply and Oil and Gas Department  
Russia, Voronezh, tel.: +7 (473) 271-53-21, e-mail: teplosnab\_kaf@vgasu.vrn.ru*

---

**Statement of the problem.** When designing and calculating the equipment of gas supply systems, it is necessary to determine the compressibility factor of the gas, taking into account the real properties [1,2]. To do this, you must perform a large amount of computation. Reference values of the compressibility factor are limited to a temperature of  $-23,15$  °C. For practical calculations, it is necessary to obtain values at lower temperatures and expressions with permissible accuracy that allow calculating it in a wide range of changes in temperature and gas pressure.

**Results.** Equations are derived for the compressibility factor of natural gas of the calculated composition on pressure and temperature, allowing to determine the value of  $z$  with an error of no more than 1%.

**Conclusions.** The obtained values of the compressibility factor supplement the reference data, and the proposed equations can be used in calculating the performance of compressors with acceptable accuracy.

**Keywords:** natural gas, real gas, compressibility factor.

*Для цитирования: Китаев, Д. Н.* Коэффициент сжимаемости природного газа расчетного состава / Д. Н. Китаев, Д. О. Недобезжкин, В. М. Богданов, Т. Бейманов // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. – 2019. – № 1 (14). – С. 29-33.

*For citation: Kitaev, D. N.* Natural gas composition ratio design structure / D. N. Kitaev, D. O. Nedobezhkin, V. M. Bogdanov, T. Baimanov // Gradostroitelstvo. Infrastruktura. Kommunikatsii. – 2019. – № 1 (14). – Pp. 29-33.

УДК 697.132

## МЕТОДЫ РАСЧЕТА ТЕПЛОПОТРЕБЛЕНИЯ НА НУЖДЫ ОТОПЛЕНИЯ МНОГОКВАРТИРНЫХ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ

Ю. В. Фролов, И. Ю. Фильшина, Д. О. Недобежкин, В. М. Богданов

*Воронежский государственный технический университет*

*Ю. В. Фролов, магистрант кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела*

*Россия, г. Воронеж, тел.: +7(473)271-53-21, e-mail: ahjkjd1995@mail.ru*

*И. Ю. Фильшина, магистрант кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела*

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

*Д. О. Недобежкин, магистрант кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела*

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

*В. М. Богданов, магистрант кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела*

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

**Постановка задачи.** Важной задачей является определение значения тепловой нагрузки объекта капитального строительства [1, 2], которое необходимо при установлении договорных нагрузок, при перспективном планировании развития территорий, инфраструктуры, объектов генерации теплоты и теплосетевых организаций [3, 4, 5]. Существует несколько методик определения тепловых нагрузок потребителя на нужды отопления, однако до конца не ясно какая из них в наибольшей степени будет соответствовать фактической [6].

**Результаты.** Для многоквартирного жилого дома по действующим методикам с использованием укрупненных измерителей [7] рассчитано значение теплопотребления за четыре месяца отопительного периода.

**Выводы.** На основе полученных данных и сравнения с фактическими по приборному учету установлено, что значения могут отличаться в 2,4 раза для одного месяца. Выявлены методики, дающие наиболее адекватные результаты при расчетах за один месяц и в сумме.

**Ключевые слова:** отопление, тепловые нагрузки, методы расчета, теплопотребление.

**Введение.** При расчете стоимости потребленной тепловой энергии потребителем используется значение договорной тепловой нагрузки. В настоящее время действуют Правила установления и изменения (пересмотра) тепловых нагрузок, утвержденные приказом Минрегиона РФ от 28.12.2009 № 610. Величина тепловой нагрузки каждой из систем теплопотребления устанавливается с применением одного из следующих методов:

1) по данным о максимальной часовой тепловой нагрузке объекта теплопотребления, установленной в договоре энергоснабжения;

2) по данным о максимальной часовой тепловой нагрузке объекта теплопотребления, установленной в договоре на подключение к системе теплоснабжения (технических условиях, являющихся неотъемлемой частью договора) или ином договоре, регулирующем условия подключения к системе теплоснабжения;

3) по данным приборов учета тепловой энергии, допущенных в эксплуатацию в качестве коммерческих;

4) по данным проектной документации соответствующего объекта теплопотребления;

5) по данным разрешительных документов на подключение объектов теплопотребления (акты, наряды, наряды-допуски на включение теплоснабжения), имеющихся в энергоснабжающей организации или у потребителя;

б) на основании статистических данных приборов технического учета тепловой энергии, имеющихся в энергоснабжающей организации при обоюдном согласии сторон на применение данного метода;

7) метода аналогов (для жилых и общественных зданий);

8) экспертного метода;

9) проектного метода.

Существует несколько методик расчета тепловой мощности системы отопления и потребления теплоты многоквартирных жилых зданий. Такая задача часто возникает при отсутствии приборов учета у потребителя. На данный момент существует несколько действующих методик и отыскание наиболее адекватной фактическим значениям является важной и актуальной задачей в сфере ЖКХ.

**1. Методики расчета.** В таблице 1 представлены названия методик и номера приказов и постановлений, в соответствии с которыми они были утверждены. Каждой методике присвоен соответствующий номер.

Таблица 1

## Рассматриваемые методики

№ методики	Название	Номер приказа, постановления
1(м1)	«Источники теплоснабжения автономные. Правила проектирования»	Приказ от 24.05.2018 №310. Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ
2(м2)	«Об утверждении правил установления и определения нормативов потребления коммунальных услуг»	Постановление правительства РФ от 23 мая 2006 №306
3(м3)	«Нормативы потребления коммунальных услуг по отоплению в жилых и многоквартирных домах на территории Воронежской области»	Приказ от 12.12.2014 №239. Департамент Жилищно-коммунального хозяйства и энергетики Воронежской области
4(м4)	«Об утверждении методики определения количеств тепловой энергии и теплоносителей в водяных системах коммунального теплоснабжения» (МДС 41.4.2000)	Приказ от 6 мая 2000 г. №105. Государственный комитет РФ по строительству и жилищно-коммунальному комплексу. Российское акционерное общество «Роскоммунэнерго»

Согласно *первой* методике максимальный расход теплоты, Вт, на отопление жилых и общественных зданий определяются по формуле:

$$Q_{\max} = q_0 F (1 + k_1), \quad (1)$$

где  $q_0$  – ориентировочный укрупненный показатель удельного расхода теплоты на отопление вентиляцию здания на  $1 \text{ м}^2$  общей площади,  $\text{Вт}/\text{м}^2$ ;  $F$  – общая площадь здания,  $\text{м}^2$ ;  $k_1$  – коэффициент, учитывающий долю расхода теплоты на отопление общественных зданий.

Средний расход теплоты на отопление  $Q_0^i$ , Вт, определяется по формуле:

$$Q_0^i = Q_{\max} \frac{t_i - t_{om}}{t_i - t_0}, \quad (2)$$

где  $t_i$  – средняя температура внутреннего воздуха отапливаемых зданий, принимаемая для жилых и общественных зданий равной  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $t_{om}$  – средняя температура наружного воздуха за период со среднесуточной температурой воздуха  $8 \text{ }^\circ\text{C}$  и менее (отопительный период),  $^\circ\text{C}$ ;  $t_0$  – расчетная температура наружного воздуха для проектирования отопления,  $^\circ\text{C}$ .

Согласно *второй* методике часовая тепловая нагрузка на отопление многоквартирного или жилого дома  $q_{max}$ , ккал/ч, не оборудованного приборами учёта, может быть рассчитана исходя из проектных данных дома, либо, в случае их отсутствия по формуле:

$$q_{max} = q_{yd} S, \quad (3)$$

где  $q_{yd}$  – нормируемый удельный расход тепловой энергии на отопление многоквартирного или жилого дома (Ккал в час на 1 кв.м);  $S$  – общая площадь жилых и нежилых помещений многоквартирного дома или помещений жилого дома, м<sup>2</sup>.

Количество тепловой энергии  $Q_0^i$ , Гкал необходимой для отопления многоквартирного или жилого дома, определяется по формуле:

$$Q_0^i = q_{max} \frac{t_i - t_{нро}}{t_i - t_0} 24n_0 10^{-6}, \quad (4)$$

где  $t_{нро}$  – среднемесячная температура наружного воздуха за отопительный период, °С;  $n_0$  – продолжительность отопительного периода (суток в год), характеризующегося среднесуточной температурой наружного воздуха 8 °С и ниже.

В качестве *третьей* методики использовался местный норматив Воронежской области в котором в зависимости от года постройки и этажности здания представлены значения удельного месячного теплопотребления в Гкал/м<sup>2</sup> общей площади.

В *четвертой* методике расчётная часовая тепловая нагрузка  $Q_{op}$ , Гкал/ч, определяется по укрупнённым показателям по формуле:

$$Q_{op} = \alpha V q_0 (t_i - t_{нро}) (1 + K_{up}) 10^{-3}, \quad (5)$$

где  $\alpha$  – поправочный коэффициент, учитывающий отличие расчётной температуры наружного воздуха от значения -30 °С;  $V$  – объём здания по наружному обмеру, м<sup>3</sup>;  $q_0$  – удельная отопительная характеристика;  $K_{up}$  – расчётный коэффициент инфильтрации, определяется по формуле:

$$K_{up} = 10^{-2} \sqrt{2gL \left( 1 - \frac{273 + t_{нро}}{273 + t_i} \right) + w_p^2}, \quad (6)$$

где  $g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;  $L$  – свободная высота здания, м;  $w_p$  – расчётная скорость ветра в отопительный период, м/с.

**2. Результаты расчета и их анализ.** По методикам, представленным выше, были проведены расчеты теплопотребления для многоквартирного жилого дома, краткая характеристика которого приведена в табл. 2. При расчетах использовались данные свода правил по климатологии и фактические значения среднемесячных температур (если это допускала методика). В табл. 3 представлены результаты расчетов теплопотребления на нужды отопления по месяцам, а также фактические данные, полученные с общедомового прибора учета (ОДПУ). На рис. 1 представлены значения, полученные по методикам и процентные отклонения от фактических по ОДПУ.

Из рис. 1 следует, что диапазон возможных отклонений от теплопотребления по общедомовому прибору учета (фактическое) за 4 месяца отопительного периода 2018-2019 г. составляет от -23,9 % до 36,4 %, а среднее значение по абсолютной величине 28,4 %. С учетом того, что рассмотренные методики могут быть использованы в рамках осуществлений платежей по договору, такие отклонения являются значительными.

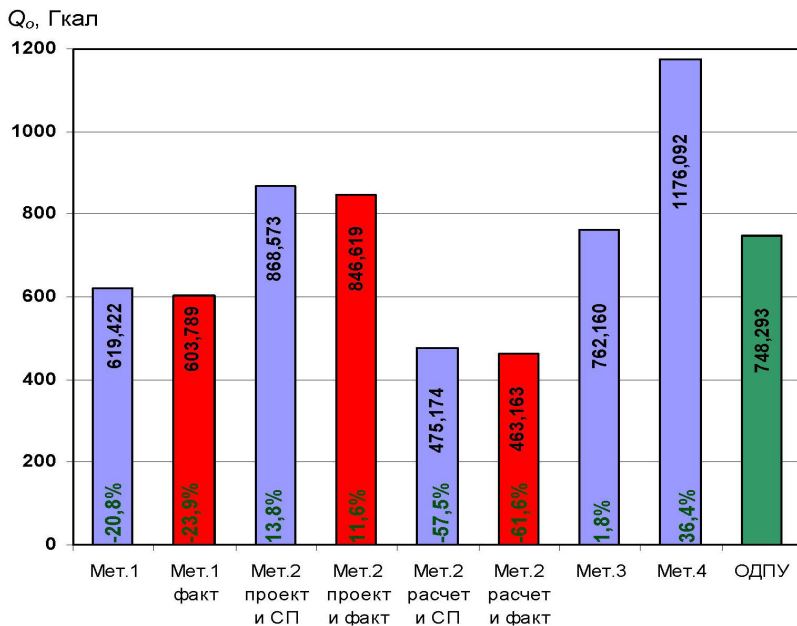


Рис. 1. Теплопотребление многоквартирного жилого дома на нужды отопления

Таблица 2

Характеристика жилого здания

Год постройки	Этажность	Общая площадь, м <sup>2</sup>	Расход на отопление по проекту, Гкал/ч
2013	10	11909,1	0,64

Таблица 3

Результаты расчетов значений теплопотребления, Гкал по методикам 1-4

Месяц	Методика 1		Методика 2				Методика 3	Методика 4	Данные ОДПУ
	климат по СП	климат по факту	по проекту		по расчету			климат по СП	
			климат по СП	климат по факту	климат по СП	климат по факту			
Октябрь	63,216	45,368	89,542	64,261	48,986	35,155	190,54	119,583	84,45
Ноябрь	153,568	164,264	217,519	232,669	118,999	127,287	190,54	293,313	193,319
Декабрь	192,533	188,407	263,913	258,257	144,380	141,286	190,54	358,195	233,063
Январь	210,105	205,750	297,600	291,432	162,809	159,435	190,54	405,001	237,461
Сумма	619,422	603,789	868,573	846,619	475,174	463,163	762,160	1176,092	748,293

Наиболее близкие значения получились при использовании методики 3, утвержденной в Воронежской области и действующей на ее территории. Несмотря на то, что данная методика учитывает только год постройки здания и этажность, в представленном временном диапазоне она дает лучший результат. Это можно объяснить тем, что значения удельных показателей теплопотребления были получены экспериментально с последующей статистической обработкой.

Второй по точности результатов является методика 2 с разницей в 11,6 % при использовании проектного значения часовой тепловой нагрузки и фактических климатологических данных. При использовании в методике 2 существующего проектного значения тепловой нагрузки и средних наружных температур воздуха по климатологии, отличие составляет 13,8 %, т.е. сильно не отличается от значения, полученного при фактических климатологических данных 11,6 %. Методика 2 дает самые заниженные значения при получении часовой тепловой нагрузки расчетным методом, и климатология не значительно влияет на результат. Из табл. 3 следует, что в рамках расчета по методике 2 результаты могут отличаться в 1,9 раза. Методика 4 дает завышенный результат на 36,4 %.

На рис. 2. представлена диаграмма, отображающая отклонения теплотребления по методикам 1-4 от показаний ОДПУ по месяцам, а также минимальные значения отклонений в каждом месяце.

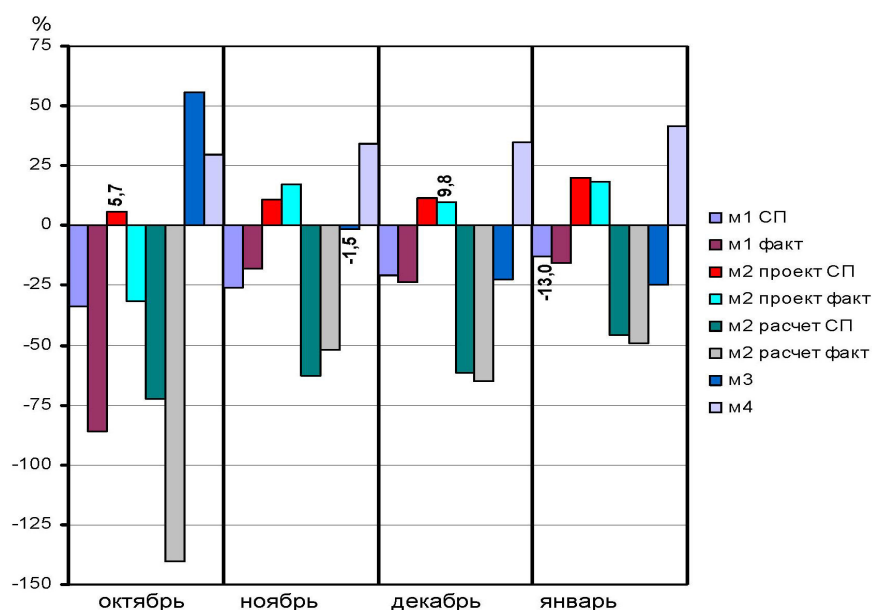


Рис. 2. Отклонения от фактических значений по месяцам

Из рис. 2 следует, что наиболее близкие результаты за октябрь дает методика 2 с отклонением 5,7 %, за ноябрь методика 3 (-1,5 %), за декабрь методика 2 (9,8 %), за январь методика 1 (-13 %). Наибольшие отклонения наблюдаются в октябре, т.е. в начале отопительного периода и они могут составлять от -140,2 до 55,7 %.

Из табл. 3 и рис. 2 следует, что самой не точной является методика 2 при использовании расчетного метода для определения часового расхода теплоты. При использовании в методике 2 заданного проектного значения часового расхода теплоты и данных климатологии, принятых по СП, получаются наилучшие результаты, имеющие среднее значение отклонения 10,1 %.

Исходя из вышеизложенного следует, что за четыре месяца отопительного периода наиболее адекватна в помесячном расчете методика 2 при использовании проектного часового расхода теплоты на отопление и климатологических данных СП. Суммарное значение теплотребления наиболее точно позволяет определить методика 3.

Следует сказать, что проведенный анализ является предварительным, т.к. необходимо делать окончательные выводы после завершения отопительного периода.

**Выводы.** Установлены и проанализированы методики определения теплотребления многоквартирных жилых зданий расчетными методами. На основе полученных данных и сравнения с фактическими по приборному учету установлено, что значения могут отличаться в 2,4 раза для одного месяца. Наиболее адекватной в принятых условиях расчета оказалась методика 2 при использовании проектного значения часового расхода теплоты и данных климатологии, принятых по СП, имеющая среднее значение отклонения 10,1 %.

## Библиографический список

1. Китаев, Д. Н. Погрешность расчета температурного графика тепловой сети при использовании показателей отопительных приборов / Д. Н. Китаев // Промышленная энергетика. – 2013. – №7. – С. 34-37.
2. Китаев, Д. Н. Расчет температуры наружного воздуха в точке излома температурного графика / Д. Н. Китаев // Новости теплоснабжения. – 2012. – №10. – С. 46-48.
3. Чичерин, С. В. Планирование величины нагрузок систем централизованного теплоснабжения с учетом особенностей современного теплоснабжения / С. В. Чичерин // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2017. – Т. 21. – № 6. – С. 103-110.
4. Китаев, Д. Н. Перспективные схемы использования когенерационных установок в системах теплоснабжения / Д. Н. Китаев, А. В. Золотарев, Н. С. Шестых // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. – 2012. – №2. – С. 26-29.
5. Мартыненко, Г. Н. Перспективы развития системы газоснабжения городского округа г. Воронеж на период до 2035 г. / Г. Н. Мартыненко, Д. Н. Китаев // Научный журнал строительства и архитектуры. – 2018. – №3(51). – С. 11-21.
6. Михайлова, Е. О. Прогнозирование гидравлических характеристик газопроводных сетей на газораспределительных пунктах / Е. О. Михайлова, Д. Н. Китаев // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. – 2017. – №3(8). – С. 23-39.
7. Китаев, Д. Н. Расчет фактического теплоснабжения промплощадки / Д. Н. Китаев, Т. В. Щукина // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. – 2017. – №3(8). – С. 40-45.

## METHODS OF CALCULATING HEAT CONSUMPTION FOR THE NEEDS OF HEATING APARTMENT RESIDENTIAL BUILDINGS

Y. V. Frolov, I. Y. Filshina, D. O. Nedobezhkin, V. M. Bogdanov

*Voronezh State Technical University*

*Yu V. Frolov, master student of the department of heat and gas supply and oil and gas business*

*Russia, Voronezh, tel.: +7 (473) 271-53-21, e-mail: ahjkjd1995@mail.ru*

*I. Y. Filshina, master student of the department 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*

*D. O. Nedobezhkin, graduate student of the department of heat gas supply and oil and gas business*

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

*V. M. Bogdanov, master student of the department 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.** An important task is to determine the heat load value of the capital construction facility [1, 2], which is necessary when establishing contractual loads, in the long-term planning of the development of territories, infrastructure, heat generation facilities and heat grid organizations [3, 4, 5]. There are several methods for determining the heat loads of the consumer for the needs of heating, but it is not completely clear which of them will best correspond to the actual one [6].

**Results.** For an apartment building, according to the current methods using integrated measuring instruments [7], the value of heat consumption for four months of the heating period was calculated.

**Conclusions.** On the basis of the data obtained and comparison with the actual ones on the basis of instrumentation, it was established that the values may differ by 2.4 times for one month. The techniques that give the most adequate results in the calculations for one month and in the amount.

**Keywords:** heating, heat loads, calculation methods, heat consumption.

*Для цитирования: Фролов, Ю. В. Методы расчета теплоснабжения на нужды отопления многоквартирных жилых зданий / Ю. В. Фролов, И. Ю. Фильшина, Д. О. Недобежкин, В. М. Богданов // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. – 2019. – № 1 (14). – С. 34-39.*

*For citation: Frolov, Y. V. Methods of calculating heat consumption for the needs of heating apartment residential buildings / Y. V. Frolov, I. Y. Filshina, D. O. Nedobezhkin, V. M. Bogdanov // Gradostroitelstvo. Infrastruktura. Kommunikatsii. – 2019. – № 1(14). – Pp. 34-39.*

---

## ТЕХНОЛОГИЯ И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА

---

УДК 69.05

### ИНЖЕНЕР ПРОИЗВОДСТВЕННО-ТЕХНИЧЕСКОГО ОТДЕЛА В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

С. Г. Тульская, Е. П. Коротких, А. М. Максименко

---

*Воронежский государственный технический университет*

*С. Г. Тульская, канд. техн. наук, доцент кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела*

*Россия, г. Воронеж, тел.: +7(473) 271-53-21, e-mail: tcdtnkfyf2014@yandex.ru*

*Е. П. Коротких, магистрант кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела*

*Россия, г. Воронеж, тел.: +7(473) 271-53-21, e-mail: cool.korotckih@yandex.ru*

*А. М. Максименко, магистрант кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела*

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

---

**Постановка задачи.** Для полного понимания того, чем занимается и за что отвечает специалист производственно-технического отдела, заранее необходимо разобраться в особенностях его работы, которая включает подсчет объемов работ и калькуляцию их стоимости.

**Результаты и выводы.** Задача контроля процесса строительства возложена на специальный отдел. Часто предприятия имеют в своей структуре отдельную должность – инженер ПТО. Описан практический опыт работы специалиста производственно-технического отдела, а также особенности составления исполнительной документации. Приведена методика расчета разработки грунта траншеи исходя из характеристики разрабатываемого грунта и глубины траншеи.

**Ключевые слова:** инженер, исполнительно-техническая документация, объем работ.

**Введение.** Начало строительства характеризуется оформлением технической документации в проектных организациях субподрядчиками с дальнейшей передачей ведущей проектной организации – генеральному подрядчику. В свою очередь генеральный подрядчик обязан взаимодействовать с заказчиком: передавать ему проектно-сметную документацию, рабочие чертежи, ведомости выполненных работ, т.е. все проектные материалы в нескольких экземплярах.

**1. Роль инженера производственно-технического отдела в строительной организации.** Отдел, занимающийся подготовкой этих документов к виду исполнительной документации с последующей передачей строителям на объекте и заказчику в установленные сроки, называется производственно-техническим (ПТО), а его специалисты называются – инженерами ПТО. Этот отдел занимает немаловажную роль в структуре строительной организации. Он является самостоятельным подразделением компании и может подчиняться главному инженеру, заместителю директора или директору одновременно взаимодействуя с другими отделами предприятия. Примерная структура организации приведена на рисунке 1.

Сотрудники ПТО работают с проектами, технологическими картами и технической документацией. Они следят за качественным ходом работ в определённые сроки, а также на всех этапах строительства взаимодействуют с субподрядчиками. Вместе с бухгалтерским отделом ПТО составляют отчетную документацию и выполняют различные расчёты.



Рис.1. Структура отделов и их взаимодействие с производственно-техническим отделом

Инженеры ПТО тесно сотрудничают со сметным отделом и отделом снабжения. Основываясь на проектно-сметной документации, отдел ПТО занимается подсчётом объёмов выполненных работ и их сравнением с фактическими объёмами для определения стоимости строительства. Если в процессе работы над проектом возникает необходимость добавления новых видов работ или финансирования, специалист обязан произвести все необходимые калькуляции и грамотно обосновать их.

Подсчёт объёмов производится на основании чертежей, спецификаций и других проектных материалов в определённой последовательности: отдельно по материалам подземной и наземной части здания, отдельно для жилой и нежилой части здания. При необходимости объёмы могут суммироваться в случае одинаковых материалов. На основе согласования подсчитанных объёмов сметчиков и ПТО отдел снабжения составляет ведомость поставки материалов на строительную площадку.

**2. Методика подсчетов объемов строительных работ.** Перед началом расчётов инженер должен обязательно ознакомиться с проектом. Для простоты вычислений объёмы работ следует подсчитывать по осям здания, отдельным участкам, помещениям или по этажам, а не по зданию в целом. Перечень объёмов работ включает в себя: земляные работы, фундаменты, перекрытия, полы, лестницы, двери и окна, внутреннюю и наружную отделку, проёмы и д.т.

Подсчёты объёмов земляных работ (траншеи, котлованы) определяются на основе проектных данных с учётом крутизны откосов, глубины заложения фундамента и характеристики грунта [5]. Для определения объёмов следует схематично изобразить планы и сечения траншеи с использованием размеров (рис. 2, 3).

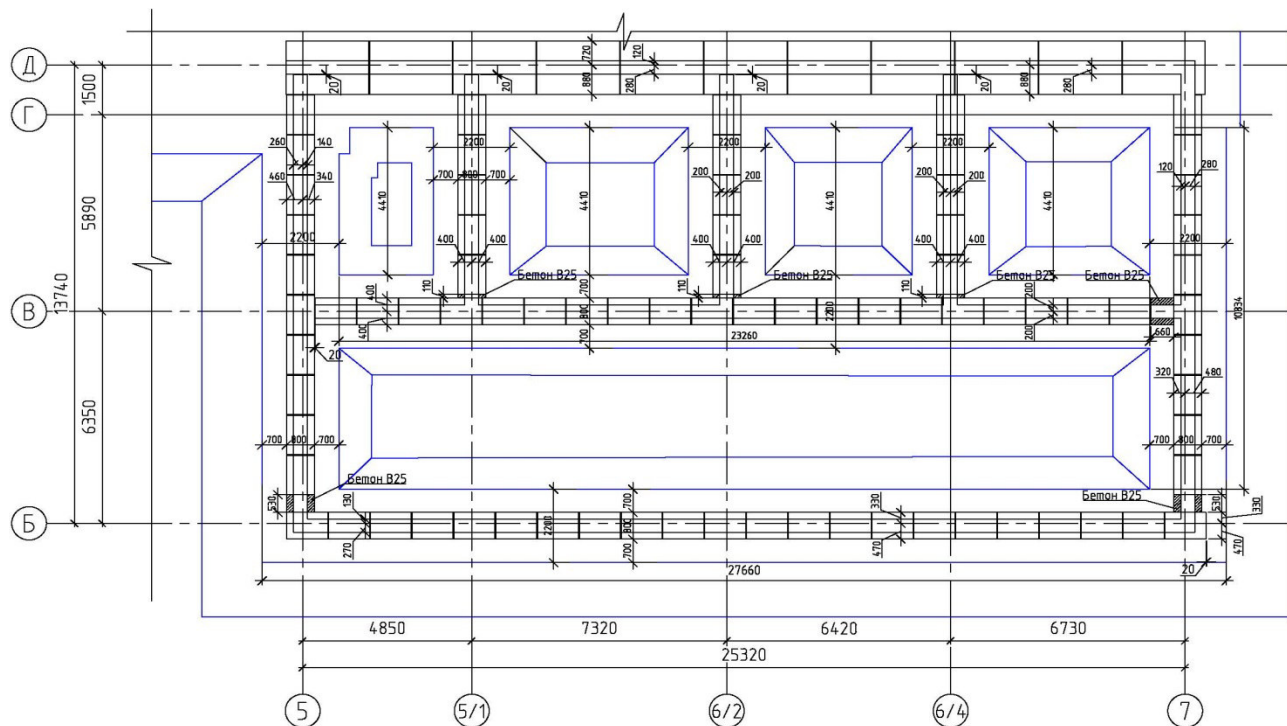


Рис.2. Разработка грунта в траншее в осях в осях 5-7/Б-Д

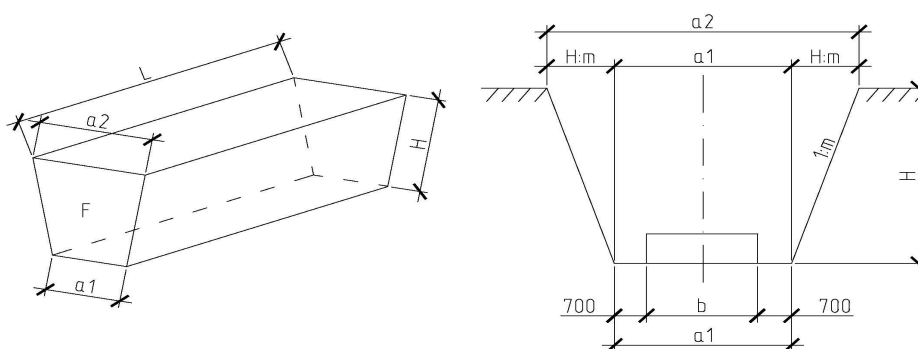


Рис.3. Схема траншеи с откосами на спланированной местности:  $a_1$  – ширина основания траншеи;  $a_2$  – ширина верха траншеи;  $b$  – ширина фундаментного блока;  $H$  – высота траншеи;  $m$  – крутизна откоса в зависимости от высоты траншеи

Подсчёты объёмов земляных работ следует производить по формулам. Объём траншеи с откосами на спланированной местности,  $m^3$ :

$$V = \frac{a_1 + a_2}{2} \cdot H \cdot L, \tag{1}$$

где  $a_1$  – ширина основания траншеи, м;  $a_2$  – ширина верха траншеи, м;  $H$  – высота траншеи, м;  $L$  – длина траншеи, м.

$$V = \frac{22 + 6,49}{2} \cdot 2,86 \cdot 85,82 = 1066,46 \text{ м}^3$$

Ширина основания траншеи, м:

$$a_1 = b + 0,7 \cdot 2, \quad (2)$$

где  $b$  – ширина фундаментного блока, м;  $0,7$  – величина доработки грунта вручную, м.

$$a_1 = 0,8 + 0,7 \cdot 2 = 2,2$$

Ширина верха траншеи, м:

$$a_2 = H \cdot m + a_1 + H \cdot m, \quad (3)$$

где  $m$  – крутизна откоса для суглинка в зависимости от высоты траншеи.

$$a_2 = 2,86 \cdot 0,75 + 2,2 + 2,86 \cdot 0,75 = 6,49 \text{ м}$$

Площадь поперечного сечения траншеи,  $\text{м}^2$ :

$$F = \frac{a_1 + a_2}{2} \cdot H, \quad (4)$$

$$F = \frac{2,2 + 6,49}{2} \cdot 2,86 = 12,43 \text{ м}^3$$

Отдельно производится подсчет надземной части здания. В нашем случае производится подсчет объёмов кирпичной кладки наружных, внутренних стен и перегородок (рис.4).

Площадь перегородок, стен, дверных и оконных проемов находится по формуле:

$$S = a \cdot h, \quad (5)$$

где  $a$  – длина перегородки, м;  $h$  – высота перегородки, м.

Основываясь на ведомости и спецификации перемычек для оконных и дверных проемов, находим их объём. Далее из всей площади стен и перегородок вычитаем площадь проёмов и находим объём кирпичной кладки

Объём кирпичной кладки,  $\text{м}^3$ :

$$V = a \cdot h \cdot \delta, \quad (6)$$

где  $a$  – длина кирпичной кладки, м;  $\delta$  – толщина кирпичной кладки, м;  $h$  – высота кирпичной кладки, м.

Из общего объема кирпичной кладки вычитаем объём перемычек для дальнейшей калькуляции необходимого количества кирпича. Расчёт производится для определения необходимого количества материала, его стоимости, а, следовательно, его экономической целесообразностью.

Подсчёт объёмов кирпичной кладки перегородок, наружных и внутренних стен сведёт в таблицу.

Таблица

## Результаты расчёта объёмов кирпичной кладки

Кирпичная кладка перегородок																
№ стены, перегородки	Размеры стены, перегородки			Дверной проем				Оконный проем				Площадь без про- емов, м <sup>2</sup>	Толщина стены, перегородки, м	Объем кирпичной кладки	Количество кирпичей, шт	
	a	h	S	a	h	S	Объем	a	h	S	Объем					
1	6,04	3,38	20,42	1,31	2,1	2,75	0,017					17,66	0,12	2,10		
2	4,42	3,38	14,94		2,1							14,94	0,12	1,79		
3	4,42	3,38	14,94		2,1							14,94	0,12	1,79		
4	4,42	3,38	14,94		2,1							14,94	0,12	1,79		
5	4,42	3,38	14,94	1,01	2,1	2,12	0,014					12,82	0,12	1,52		
6	6,04	3,38	20,42	1,31	2,1	2,75	0,014					17,66	0,12	2,11		
7	2,86	3,38	9,65	1,01	2,1	2,12	0,014					7,53	0,12	0,89		
8	3,52	3,38	11,90	1,31	2,1	2,75	0,017					9,15	0,12	1,08		
9	3,52	3,38	11,90	1,31	2,1	2,75	0,017					9,15	0,12	1,08		
10	3,52	3,38	11,90	1,31	2,1	2,75	0,017					9,15	0,12	1,08		
11	3,1	3,38	10,48		2,1							10,48	0,12	1,26		
12	4,01	3,38	13,55	1,01	2,1	2,12	0,014					11,43	0,12	1,36		
13	3,22	3,38	10,88	1,01	2,1	2,12	0,014					8,76	0,12	1,04		
14	4,4	3,38	14,87		2,1							14,87	0,12	1,78		
15	2,72	3,38	9,19		2,1							9,19	0,12	1,10		
16	3,7	3,38	12,51		2,1							12,51	0,12	1,50		
17	3,6	3,38	12,17		2,1							12,17	0,12	1,46		
18	5,14	3,38	17,37		2,1							17,37	0,12	2,08		
19	1,8	3,38	6,08		2,1							6,08	0,12	0,73		
20	4,42	3,38	14,94		2,1							14,94	0,12	1,79		
21	2,9	3,38	9,80		2,1							9,80	0,12	1,18		
22	2,74	3,38	9,26		2,1							9,26	0,12	1,11		
23	2,4	3,38	8,11		2,1							8,11	0,12	0,97		
24	2,3	3,38	7,77		2,1							7,77	0,12	0,93		
25	1,09	3,38	3,67		2,1							3,67	0,12	0,44		
26	2,74	3,38	9,26	1,01	2,1	2,12	0,014					7,14	0,12	0,84		
27	2,87	3,38	9,70	1,01	2,1	2,12	0,014					7,58	0,12	0,90		
28	3,52	3,38	11,90		2,1							11,90	0,12	1,43		
														37,15	111	46
Кирпичная кладка стен наружных																
Б	25,8	3,3	85,27						1,81	1,81	3,28	0,17	65,62	0,38	23,90	
									1,81	1,81	3,28	0,17				
									1,81	1,81	3,28	0,17				
									1,81	1,81	3,28	0,17				
									1,81	1,81	3,28	0,17				

Окончание табл.

								1,81	1,81	3,28	0,17			
5/Б-Г	11,9	3,3	39,14					1,81	1,81	3,28	0,17	26,03	0,38	9,20
								1,81	1,81	3,28	0,17			
								1,81	1,81	3,28	0,17			
7/Б-Г	11,9	3,3	39,14	1,01	2,1	2,12	0,12	1,81	1,81	3,28	0,17	30,99	0,38	11,37
				1,31	2,1	2,75	0,11							
												44,47	13341	
Кирпичная кладка стен внутренних														
5	6,94	3,3	22,90	1,31	2,1	2,75	0,22					20,15	0,38	6,78
							0,11							
							0,11							
							0,22							
							0,11							
5/1	6,94	3,3	22,90				0,22					22,90	0,38	8,58
6/2	6,94	3,3	22,90									22,90	0,38	8,58
6/4	6,94	3,3	22,90	1,01	2,1	2,12	0,11					18,05	0,38	6,75
				1,3	2,1	2,73								
6/4	25,8	3,3	85,27	1,5	2,64	3,96	0,22					70,19	0,38	25,96
				1,5	2,64	3,96	0,12							
				1,01	2,1	2,12	0,12							
				1,2	2,1	2,52	0,22							
				1,2	2,1	2,52	0,04							
												56,77	17032	
Всего кирпича: 41519 шт.														

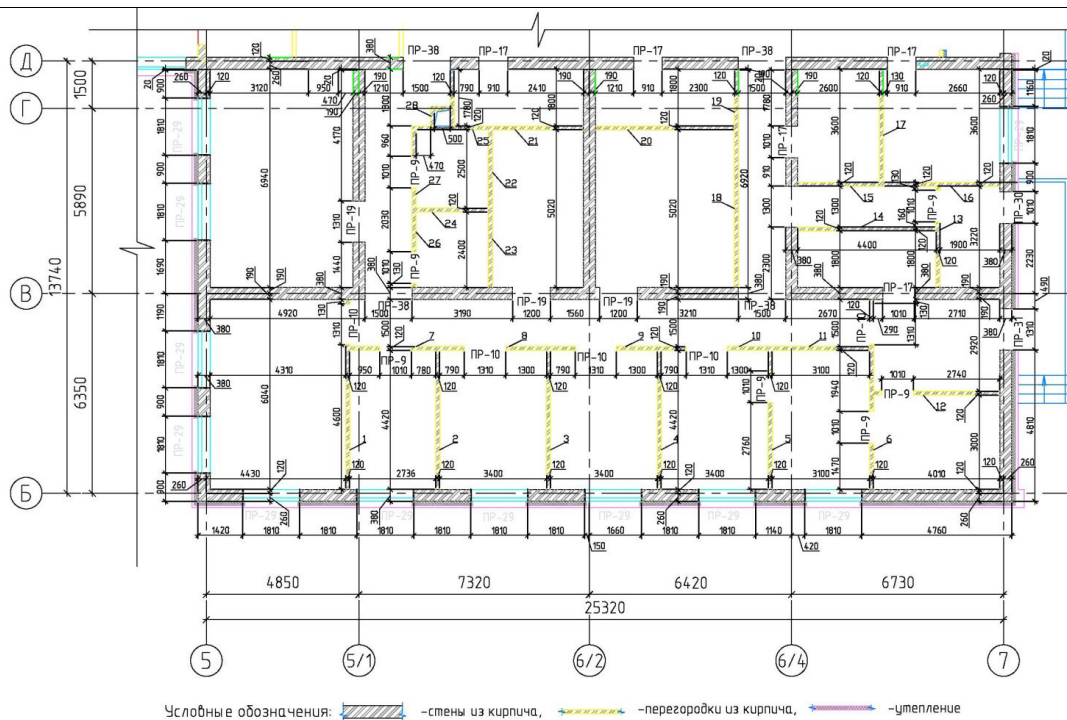


Рис.4. Кладочный план на отметке 0,000 в осях 5-7/Б-Д

Принцип определения расхода кирпича, исходя из объёма стен, производится с учётом вида кирпичной кладки. В 1 м<sup>3</sup> кладки утолщённого кирпича размером 250x120x88 с учётом растворных швов (20 мм) помещается 300 штук кирпичей.

Из всего вышесказанного мы видим, что ведение строительного объекта требует слаженной работы всех отделов или подразделений строительной компании.

**3. Состав исполнительной документации.** В перечень обязанностей инженера ПТО входит разработка исполнительно - технической документации, состав и порядок ведения которой определён Федеральной службой по экологическому, технологическому и атомному надзору [1, 2].

Исполнительная документация оформляется определённым образом. Она представляет собой графические и текстовые материалы, отображающие фактическое выполнение проектных решений объекта строительства и ведётся лицом, осуществляющим строительство. Как правило, этот документ хранится у застройщика до момента проведения итоговой проверки органом строительного надзора, но также может храниться и у заказчика. На основе соответствия реконструированного или построенного объекта техническим стандартам, нормам и правилам строительный надзор даёт положительное заключение и возвращает исполнительную документацию заказчику или застройщику на постоянное хранение. На завершающем этапе строительства уполномоченный орган государственной власти (администрация города, района, сельских поселений) выдаёт разрешение на ввод объекта в эксплуатацию, вследствие чего исполнительная документация передаётся собственнику объекта.

Исполнительно-техническая документация включает в себя первичные документы о соответствии. Данные документы фиксируют проведение строительно-монтажных работ и отображают материально-техническое состояние на объекте. Инженеры ПТО оформляют первичные документы о соответствии непосредственно в процессе строительства. Состав документов определяется проектной документацией (акты освидетельствования скрытых работ, акты освидетельствования ответственных конструкций, акты освидетельствования участков сетей инженерно-технического обеспечения, акты испытаний и лабораторного контроля, журналы производства работ, сертификаты качества, исполнительные геодезические схемы и чертежи) и строительными нормами и правилами.

Так же, основу исполнительной документации составляет оформленный рабочий проект. В него входит комплект чертежей, которые имеют определённые надписи и поправки, показывающие нам, что проект соответствует выполненным строительным мероприятиям или в него внесены изменения [3, 4].

**4. Должностные обязанности инженера ПТО.** На должность инженера ПТО принимают лиц, которые имеют высшее техническое образование и обладают знаниями с области нормативно-правовых актов и трудового законодательства, умеют пользоваться технической документацией и нормативными источниками литературы – СНиП, ГОСТ, СП и другими руководящими документами. Сотрудник обязан уметь разбираться во всех нюансах разработки и утверждения планов строительных работ [5, 12-25].

В основные обязанности инженера проектно-технического отдела входит:

- контроль за выполнением строительно-монтажных работ;
- проверка соответствия объёмов строительно-монтажных работ рабочим чертежам, техническим условиям и стандартам, проектно-сметной документации, нормам охраны труда
- проверка сметной документации;
- согласование с заказчиком и субподрядными организациями актов выполненных работ, процентов, спецификаций, стоимости и замены материалов;
- ведение журнала производства работ;
- принимать участие и изучать причины некачественного выполнения работ и нарушений сроков выполнения строительства;

- ведение ежедневной установленной отчётности и её предоставление заказчику, техническому надзору, начальнику предприятия.

Важно свободное владение базовыми компьютерными программами. Такими как, «Microsoft Office», «AutoCAD», «Компас», «Adobe Acrobat DC», а также программы архивации документов.

**Вывод.** Функции инженера ПТО довольно разнообразны, поэтому такой человек должен иметь не только технический склад ума, но и обладать набором личностных качеств таких, как дисциплинированность, коммуникабельность, ответственность, аккуратность. Результаты работы инженера производственно-технического отдела оцениваются исходя из объективного мнения его непосредственного руководителя и коллектива.

#### Библиографический список

1. Нормативные правовые акты при осуществлении государственного строительного надзора: сборник документов. Серия 18. Выпуск 2. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Закрытое акционерное общество «Научно-технический центр исследований проблем промышленной безопасности», 2017. – 124 с.
2. **Летчфорд, А. Н.** Исполнительная документация в строительстве: справочное пособие / Летчфорд А. Н. – М.: Общероссийский общественный фонд «Центр качества строительства». 2008. – 310 с.
3. ГОСТ 21.001-2013 Система проектной документации для строительства (СПДС). Общие положения. – М.: Изд-во стандартов, 2014. – 12 с.
4. Свод правил: СП 68.13330.2017 Приёмка в эксплуатацию законченных строительством объектов. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 3.01.04-87.: нормативно-технический материал. – М.: Минстрой России, 2017. – 50 с.
5. Свод правил: СП 70.13330.2012 Несущие и ограждающие конструкции. Актуализированная редакция СНиП 3.03.01-87 (с Изменениями N 1, 3): нормативно-технический материал. – М.: Госстрой, 2013. – 205 с.
6. Строительные нормы и правила: СНиП 3.01.01-85 Организация строительного производства: нормативно-технический материал. – М.: Госстрой СССР, 1990. – 59 с.
7. **Гарев, В. М.** Исполнительная техническая документация при строительстве зданий и сооружений. Справочное пособие / Гарев В. М., Шинкевич В. А // ЦКС. СПб: 2005. – 543 с.
8. **Копытина, Е. А.** Применение теории игр в строительной деятельности / Е. А. Копытина, Н. А. Петрикеева, С. Г. Тульская, С. Н. Кузнецов // Научный журнал строительства и архитектуры. – 2018. – № 4 (52). – С. 137-144.
9. **Мелькумов, В. Н.** Влияние планировки функциональных зон городов на развитие систем теплоснабжения / В. Н. Мелькумов, С. Н. Кузнецов, С. Г. Тульская, А. А. Чуйкина / Научный журнал строительства и архитектуры. – 2019. – № 1 (53). – С. 116-123.
10. **Петров, С. А.** Альтернативные источники энергии для частных коттеджей / С. А. Петров, С. Г. Тульская, Е. В. Забудько // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. – 2018. – № 1 (10). – С. 32-38.
11. **Тульская, С. Г.** Формирование городской территории при градостроительном проектировании / С. Г. Тульская, А. А. Чуйкина // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. – 2015. – № 1 (1). – С. 9-20.
12. **Булыгина, С. Г.** Анализ динамики ценовых факторов в технико-экономических обоснованиях систем теплоснабжения / С. Г. Булыгина // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. – 2011. – № 1 (4). – С. 17-23.
13. **Мелькумов, В. Н.** Критерии оптимальности и условия сравнения проектных решений систем теплоснабжения / В. Н. Мелькумов, К. А. Скляр, С. Г. Тульская, А. А. Чуйкина // Научный журнал строительства и архитектуры. – 2017. – № 4 (48). – С. 29-37.
14. **Сотникова, О. А.** Реконструкция инженерного оборудования жилых зданий / О. А. Сотникова, Д. М. Чудинов, Н. А. Петрикеева, Н. М. Попова // Научно-технические проблемы совершенствования и развития систем газозенергоснабжения. – 2018. – № 1. – С. 216-223.
15. **Китаев, Д. Н.** Развитие системы теплоснабжения городского округа город Воронеж в долгосрочной перспективе / Д. Н. Китаев // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. – 2010. – № 2 (3). – С. 72-77.
16. **Семенов, В. Н.** Энергосбережение и повышение энергоэффективности для объектов социальной сферы / В. Н. Семенов, Д. Н. Китаев, Т. В. Шукина, Д. Ю. Королев // Энергосбережение. – 2010. – № 6. – С. 38-45.
17. **Куликова, Е. А.** Оптимизация работы энергосистем. Определение вероятного ущерба от перерывов энергоснабжения / Е. А. Куликова, Н. М. Попова, Н. В. Коротких, Н. А. Петрикеева // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. – 2018. – № 4 (13). – С. 29-36.

18. **Мартыненко, Г. Н.** Перспективы развития системы газоснабжения городского округа г. Воронеж на период до 2035 г. / Г. Н. Мартыненко, Д. Н. Китаев // Научный журнал строительства и архитектуры. – 2018. – №3(51). – С. 11-21.

19. **Мелькумов, В. Н.** Мониторинг надежности тепловых сетей / В. Н. Мелькумов, С. Н. Кузнецов, К. А. Скляр, А. А. Горских // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. – 2010. – № 1 (17). – С. 52-58

20. **Плаксина, Е. В.** Характерные особенности организации систем отопления и вентиляции в общественных помещениях / Е. В. Плаксина, Е. О. Кшевинская, Е. А. Лавлинская // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. – 2015. – № 3 (20). – С. 77-83.

21. **Каширин, М. А.** Выбор оптимальной трассы тепловых сетей промпредприятия / М. А. Каширин, Д. Н. Китаев // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации // 2018. – №2 (11). – С. 9- 12.

22. **Чичерин, С. В.** Коммунальная теплоснабжающая инфраструктура для обеспечения устойчивого развития городов / С. В. Чичерин // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. – 2017. – №3 (8). – С. 9- 14.

23. **Чуйкина, А. А.** Исследование связи материальной характеристик тепловой сети и момента тепловой нагрузки / А. А. Чуйкина, А. Р. Бохан, К. А. Григорьева // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. – 2018. – № 4 (13). – С. 9–16.

24. **Melkumov, V. N.** Mathematical modelling of air streams in large spaces / V. N. Melkumov, A. V. Loboda, S. V. Chujkin // Scientific Herald of the Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering. Construction and Architecture. – 2015. – №1(25). – С. 15-24.

25. **Кузнецов, С. Н.** Экологическая безопасность воздушной среды помещений с выделением вредных веществ различной плотности / С. Н. Кузнецов, Н. А. Петрикеева // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. – 2013. – № 1 (29). – С. 82-90.

## ENGINEER OF PRODUCTION AND TECHNICAL DEPARTMENT IN CONSTRUCTION

S. G. Tulskeya, E. P. Korotkikh, A. M. Maksimenko

---

*Voronezh State Technical University*

*S. G. Tulskeya, PhD in Engineering, Assoc. Prof. of the 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. P. Korotkikh, master of Dept. of Heat and Gas Supply and Oil and Gas Business  
Russia, Voronezh, tel.: +7(473) 271-53-21, e-mail: cool.korotckih@yandex.ru*

*A. M. Maksimenko, master of Dept. of Heat and Gas Supply and Oil and Gas Business  
Russia, Voronezh, tel.: +7(473) 271-53-21, e-mail: maksartur@yandex.ru*

---

**Statement of the problem.** To fully understand what the specialist of the production and technical Department is responsible for, it is necessary to understand in advance the peculiarities of his work, which includes the calculation of the volume of work and the calculation of their cost.

**Results and conclusions.** The task of monitoring the construction process is entrusted to a special Department. Often enterprises have a separate position in their structure – PTO engineer. The practical experience of the specialist of the production and technical Department, as well as the features of the Executive documentation. The method of calculation of the development of the trench soil based on the characteristics of the developed soil and the depth of the trench.

**Keywords:** engineer, as-built technical documentation, scope of work.

*Для цитирования: Тульская, С. Г. Инженер производственно-технического отдела в строительстве / С. Г. Тульская, Е. П. Коротких, А. М. Максименко // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. – 2019. – № 1(14). – С. 40-48.*

*For citation: Tulskeya, S. G. Engineer of production and technical department in construction / S. G. Tulskeya, E. P. Korotkikh, A. M. Maksimenko // Gradostroitelstvo. Infrastruktura. Kommunikatsii. – 2019. – № 1(14). – Pp. 40-48.*

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ И СТРОИТЕЛЬСТВО ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

УДК 621.311

### СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РАСЧЕТА ВЫСОТЫ СТЕРЖНЕВЫХ МОЛНИЕОТВОДОВ НА ОСНОВЕ СУЩЕСТВУЮЩИХ ИНСТРУКЦИЙ

А. В. Николайчик, С. Ж. Кенжегалиев

*Воронежский государственный технический университет*

*А. В. Николайчик, канд. техн. наук, доцент кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела  
Россия, г. Воронеж, тел.: +7 (920) 461-98-58, e-mail: A.Nikolaichik@yandex.ru*

*С. Ж. Кенжегалиев, магистрант кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела  
Россия, г. Воронеж, тел.: +7 (952) 956-34-42, e-mail: stas95k@mail.ru*

**Постановка задачи.** Защита от прямых ударов молнии (ПУМ) является важным направлением обеспечения безопасной работы электрооборудования. Для создания молниезащиты с заданным уровнем надежности существуют действующие отечественные нормативные документы (инструкции), регламентирующие ее проектирование.

**Результаты.** Произведены расчеты высот стержневых молниеотводов для молниезащиты электрооборудования по действующим отечественным нормативным документам (инструкциям РД 34.21.122–87 [1] и СО 153-343.21.122–2003 [2]). Сравнительный анализ инструкций по расчету молниезащиты указывает на необходимость разработки уточненной методики расчета и выбора параметров молниезащитных устройств.

**Выводы.** Сравнительный анализ расчета высоты стержневых молниеотводов на основе действующих инструкций и проведенные нами расчеты, выявили, что наибольшую степень надежности защиты объекта от прямых ударов молнии обеспечивает одиночный стержневой молниеотвод, рассчитанный по инструкции СО 153-343.21.122–2003 [2]. Снижение надежности молниезащиты может привести к повреждению дорогостоящего оборудования и прекращению подачи электроэнергии потребителю, нанося тем самым большой экономический ущерб.

**Ключевые слова:** молния, молниезащита, стержневые молниеотводы, зона защиты

**Введение.** Молния является явлением природы, оказывающих значительное влияние на многие стороны жизни на Земле. Одна из них – электроэнергетика с протяженными линиями электропередачи и подстанциями, занимающими значительные площади. Поэтому множество разрядов молнии в землю поражают электроэнергетические объекты, вызывая перерывы электроснабжения потребителей. По этой причине с начала развития электроэнергетики разрабатываются меры защиты электроэнергетических сетей от разрядов молнии.

Воздействия молнии принято подразделять на две основные группы [1, 2]:

- первичные, вызванные прямым ударом молнии;
- вторичные, индуцированные близкими ее разрядами или занесенные в объект протяженными металлическими коммуникациями.

Опасность прямого удара и вторичных воздействий молнии для зданий и сооружений и находящихся в них людей или животных определяется, с одной стороны, параметрами разряда молнии, а с другой – технологическими и конструктивными характеристиками объекта (наличием взрыво- или пожароопасных зон, огнестойкостью строительных конструкций, видом вводимых коммуникаций, их расположением внутри объекта и т. д.) [3–5].

В результате анализа действующих отечественных нормативных документов по расчету высот стержневых молниеотводов для молниезащиты электрооборудования, на сегодняшний день можно выделить два основных, это инструкции РД 34.21.122–87 и СО 153-343.21.122–2003. Для оценки надежности молниезащиты электрооборудования по этим инструкциям был выполнен расчет высот стержневых молниеотводов и проведен сравнительный анализ полученных результатов.

**1. Анализ расчета высоты стержневых молниеотводов на основе инструкции РД 34.21.122–87.** Защитное действие молниеотвода характеризуется его зоной защиты, т.е. пространством вблизи молниеотвода, вероятность попадания молнии в которое не превышает определенного достаточно малого значения, а также значением сопротивления заземления и конструкцией заземлителя.

Зоны защиты молниеотводов высотой  $h \leq 30$  м были определены в 1936–1940 гг. А. А. Акопяном на основе обширных лабораторных исследований. Надежность их подтверждена длительным опытом эксплуатации и оценивается как 0,999. Они вошли как составная часть в ряд нормативных документов [1, 2].

При всем различии глубины проработки нормативных документов их основу составляет методика расчета и выбора параметров стержневых и тросовых молниеотводов, обеспечивающих требуемую надежность молниезащиты. Базовым элементом различных методик является зона защиты одиночного стержневого молниеотвода высотой  $h$ , которая представляет собой круговой конус (рис. 1), радиус которого на высоте защищаемого объекта определяет надежность молниезащиты.

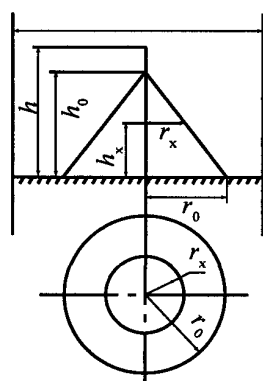


Рис. 1. Зона защиты одиночного стержневого молниеотвода

В инструкции РД 34.21.122–87 [1], являющейся основным нормативным документом по молниезащите в РФ, параметры кругового конуса определяются по эмпирическим формулам для зоны А и зоны Б, отличающихся степенью надежности молниезащиты (зоне А соответствует степень надежности  $P_n = 0,99$ , зоне Б – 0,9).

Зона защиты одиночного стержневого молниеотвода высотой  $h$  представляет собой круговой конус (рис. 1), вершина которого находится на высоте  $h_0 < h$ . На уровне земли зона защиты образует круг радиусом  $r_0$ . Горизонтальное сечение зоны защиты на высоте защищаемого сооружения  $h_x$  представляет собой круг радиусом  $r_x$ .

Приведенные ниже расчетные формулы (табл. 1) пригодны для молниеотводов высотой до 150 м.

Таблица 1

Расчет зоны защиты одиночного стержневого молниеотвода по инструкции [1]

Надежность защиты $P_3$	Высота молниеотвода $h$ , м	Высота конуса $h_0$ , м	Радиус конуса $r_0$ , м	Радиус конуса $r_x$ , м
Зона Б (0,9)	$h \leq 150$	$0,92h$	$1,5h$	$1,5(h - h_x/0,92)$
Зона А (0,99)	$h \leq 150$	$0,85h$	$(1,1 - 0,002h)h$	$(1,1 - 0,002h)(h - h_x/0,85)$

**2. Анализ расчета высоты стержневых молниеотводов на основе инструкции СО 153-343.21.122–2003.** В инструкции СО 153-343.21.122–2003 [2], также являющейся нормативным документом по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций распространяется на все виды зданий, сооружений и промышленные коммуникации независимо от ведомственной принадлежности и формы собственности.

Инструкция предназначена для использования при разработке проектов, строительстве, эксплуатации, а также при реконструкции зданий, сооружений и промышленных коммуникаций.

Для зоны защиты требуемой надежности (рис. 1) радиус горизонтального сечения  $r_x$  на высоте  $h_x$  определяется по формуле:

$$r_x = \frac{r_0(h_0 - h_x)}{h_0}, \quad (1)$$

где  $r_0$  – радиус защиты на уровне земли;  $h_0$  – высота защитного конуса;  $h_x$  – высота молниеотвода.

Приведенные ниже расчетные формулы (табл. 2) пригодны для молниеотводов высотой до 150 м.

Таблица 2

Расчет зоны защиты одиночного стержневого молниеотвода по инструкции [2]

Надежность защиты $P_3$	Высота молниеотвода $h$ , м	Высота конуса $h_0$ , м	Радиус конуса $r_0$ , м
Зона Б (0,9)	От 0 до 100	$0,85h$	$1,2h$
Зона А (0,99)	От 0 до 30	$0,8h$	$0,8h$

**3. Расчет высоты стержневых молниеотводов на основе рассматриваемых инструкций.** Проведем расчет высоты одиночного стержневого молниеотвода по представленным в таблице 1 и 2 формулам анализируемых инструкций [1, 2], зная радиус горизонтального сечения  $r_x$  на высоте  $h_x$  для защиты от молнии понижающей трансформаторной подстанции киоскового типа (объект) напряжением 10/0,4кВ мощность 1000кВА подключенной от воздушной линии 10кВ. В соответствии с требованиями данных инструкций [1, 2], размерами оборудования и геологическими изысканиями в месте их установки, молниеотвод необходимо расположить на расстоянии не менее 5 м от контура заземления объекта, чтобы избежать заноса высокого потенциала в объект от молниеотвода.

Полученные расчеты зоны защиты и высоты одиночного стержневого молниеотвода представлены по рассматриваемым инструкциям представлены на рис. 2 и 3.

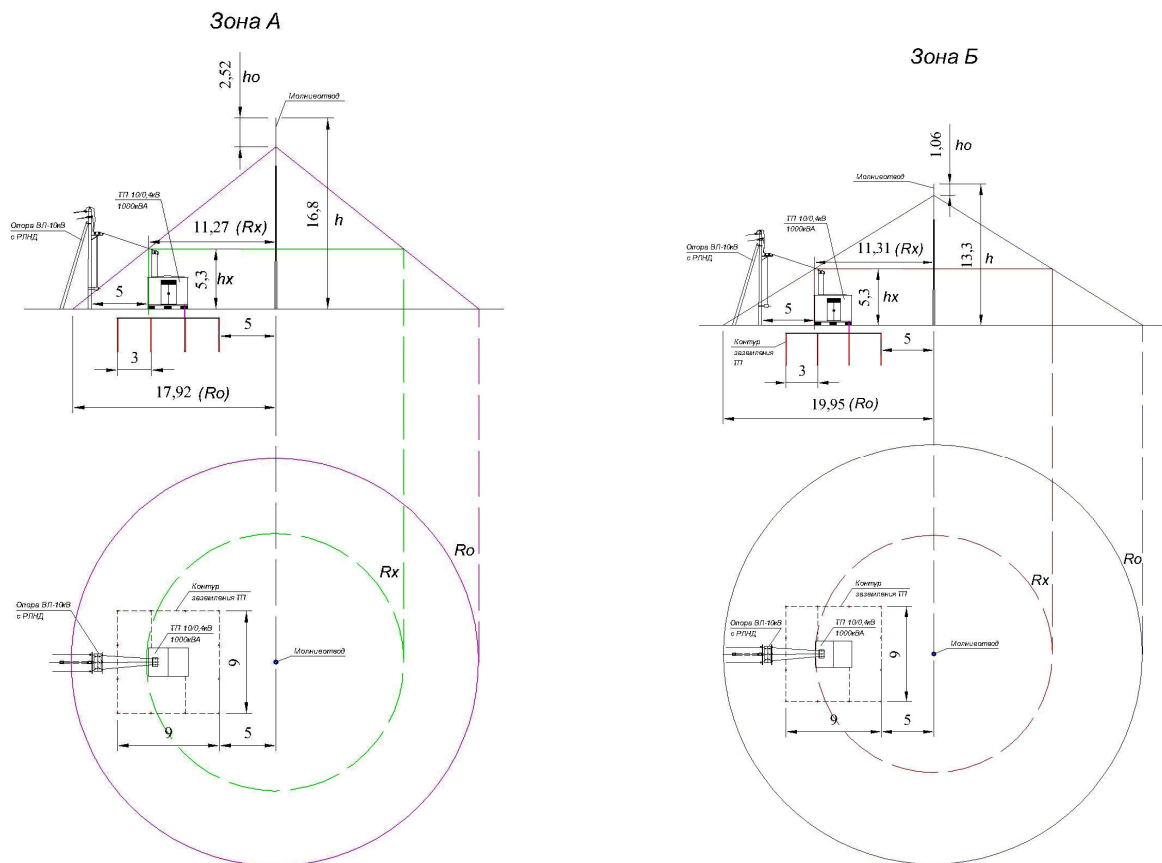


Рис. 2. Зона защиты одиночного стержневого молниеотвода по инструкции РД 34.21.122-87

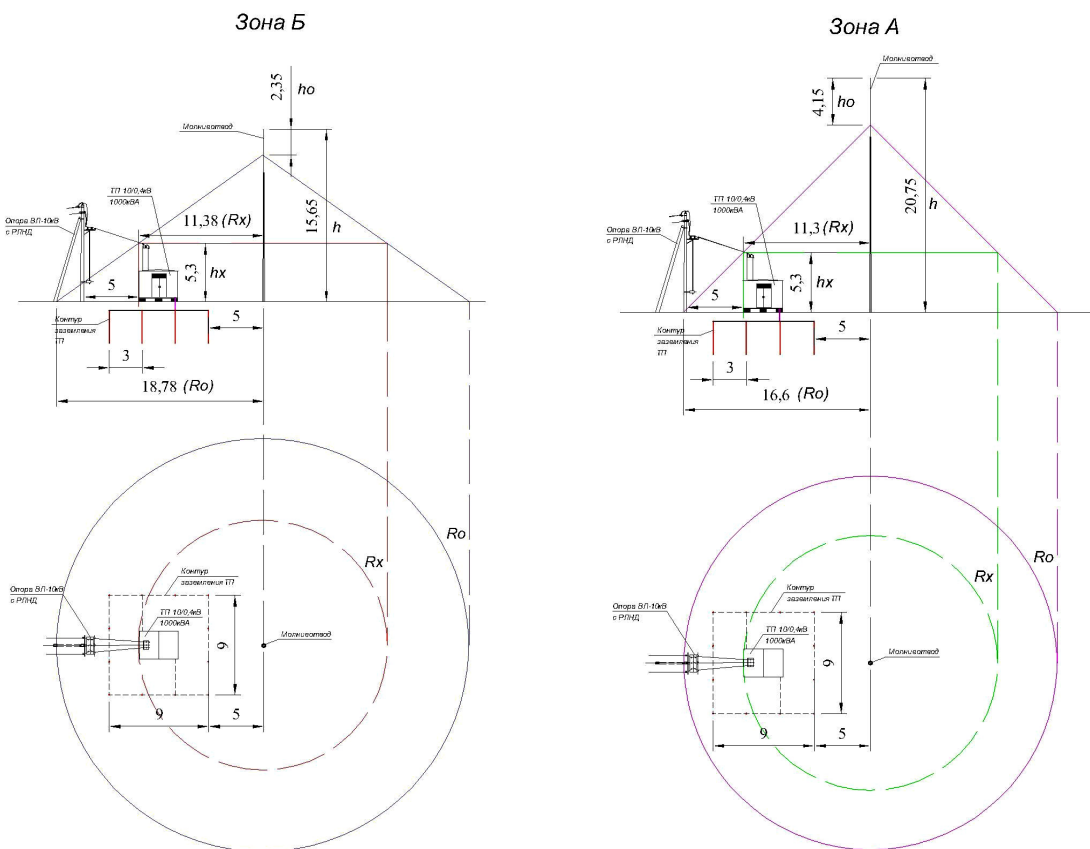


Рис. 3. Зона защиты одиночного стержневого молниеотвода по инструкции СО 153-343.21-122-2003

В соответствии с п.2.5 инструкции РД 34.21.122–87 это расстояние рассчитывается по формуле:

$$S_3 = S_6 + 2, \quad (2)$$

где  $S_3$  – наименьшее допустимое расстояния в земле между заземлителями защиты от прямых ударов молнии и коммуникациями, вводимыми в здания и сооружения;  $S_6$  – наименьшее допустимое расстояние по воздуху от защищаемого объекта до опоры (токоотвода) стержневого молниеотвода (для рассматриваемого объекта  $S_6 = 3$  м по п. 2.3 инструкции РД 34.21.122–87).

Представленные выше результаты свидетельствуют о том, что высота молниеотвода для защиты объекта, вычисленная по существующим инструкциям, значительно различается. Фактические результаты расчета высот молниеотводов представлены в таблице 3.

Таблица 3

Расчет высоты одиночного стержневого молниеотвода

	Надежность защиты $P_3$	
	Зона Б (0,9)	Зона А (0,99)
Высота молниеотвода $h$ , м (инструкция РД 34.21.122–87)	13,30	16,80
Высота молниеотвода $h$ , м (инструкция СО 153-343.21.122–2003)	15,65	20,75
Полученная сравнительная разница высот молниеотвода, %	17,67	23,51

Итоговые значения (см. табл. 3) фактического расчета высот молниеотвода объекта в процентном соотношении имеют большое отклонение друг от друга в зависимости от применяемых для расчета инструкций и не могут быть приняты за погрешность расчетов. На практике ошибки в расчетах молниезащиты могут привести к повреждению дорогостоящего оборудования и прекращению подачи электроэнергии потребителю, нанося тем самым большой экономический ущерб по сравнению со стоимостью строительства молниезащиты с более высокими требованиями надежности.

**Выводы.** Сравнительный анализ расчета высоты стержневых молниеотводов на основе действующих инструкций позволяет сделать следующие выводы:

1) наибольшую степень надежности защиты объекта от прямых ударов молнии обеспечивает одиночный стержневой молниеотвод, рассчитанный по инструкции СО 153-343.21.122–2003 [2];

2) снижение надежности молниезащиты могут привести к повреждению дорогостоящего оборудования и прекращению подачи электроэнергии потребителю, нанося тем самым большой экономический ущерб.

Существующие в настоящий момент методы расчета молниезащиты требуют дальнейшего совершенствования в целях повышения надежности и безопасной работы применяемого современного оборудования.

#### Библиографический список

1. РД 34.21.122–87. Инструкция по устройству молниезащиты зданий и сооружений. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 45 с.
2. СО 153-343.21.122–2003. Инструкция по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций. – М.: МЭИ, 2004. – 29 с.

3. **Чуйкин, С. В.** Разработка программы расчета ожидаемых нагрузок ветра на провода воздушных линий электропередачи / С. В. Чуйкин, Т. В. Дорофеева, Е. О. Кшевинская // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. – 2015. – № 1 (18). – С. 23-28.

4. **Щукина, Т. В.** Комбинированная выработка тепловой и электрической энергии в гелиоустановках / Т. В. Щукина, Д. М. Чудинов, Н. А. Петрикеева, Н. М. Попова // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Высокие технологии. Экология. – 2017. – № 1. – С. 118-121.

5. **Кшивинская, Е. О.** Гололёдные и ветровые нагрузки на воздушные линии электропередачи / Е. О. Кшевинская, Е. А. Лавлинская, Е. В. Плаксина // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. – 2016. – № 1 (2). – С. 44-48.

## COMPARATIVE ANALYSIS OF THE CALCULATION OF THE HEIGHT OF THE LIGHTNING RODS ON THE BASIS OF EXISTING INSTRUCTIONS

A. V. Nikolaichik, S. Z. Kenzhegaliev

---

*Voronezh State Technical University*

*A. V. Nikolaichik, PhD in Engineering, Assoc. Prof. of the Dept. of Heat and Gas Supply and Oil and Gas Business  
Russia, Voronezh, tel.: +7 (920) 461-98-58, e-mail: A.Nikolaichik@yandex.ru*

*S. Z. Kenzhegaliev, master of Dept. of Heat and Gas Supply and Oil and Gas Business  
Russia, Voronezh, tel.: +7 (952) 956-34-42, e-mail: stas95k@mail.ru*

---

**Statement of the problem.** Protection against direct lightning strikes (DLS) is an important area to ensure the safe operation of electrical equipment. There are the operating domestic normative documents (instructions) for creation of lightning protection with the set level of reliability, which regulating its design.

**Results.** Calculations of heights of rod lightning rods for lightning protection of electrical equipment according to the current domestic regulations were made (instructions RD 34.21.122–87 and CO 153-343.21.122-2003). A comparative analysis of the instructions for the calculation of lightning protection indicates the need to develop a refined method of calculation and selection of parameters of lightning protection devices.

**Conclusions.** Our calculations performed according to the instruction [1] showed in all cases a significant excess of the protection zone of a single rod lightning rod compared to their calculation according to the instruction [2]. Thus, in practice, the calculation of lightning protection to ensure the safe operation of the equipment is recommended to be carried out according to the instructions, which impose higher requirements for the reliability of lightning protection, i.e. according to the instructions [2].

**Keywords:** lightning, lightning protection, lightning rods, protection zone.

*Для цитирования: Николайчик, А. В.* Сравнительный анализ расчета высоты стержневых молниеотводов на основе существующих инструкций / А. В. Николайчик, С. Ж. Кенжегалиев // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. – 2019. – № 1 (14). – С. 49-54.

*For citation: Comparative analysis of the calculation of the height of the lightning rods on the basis of existing instructions / A. V. Nikolaichik, S. Z. Kenzhegaliev // Gradostroitelstvo. Infrastruktura. Kommunikatsii. – 2019. – № 1(14). – Pp. 49-54.*

## ***ПРАВИЛА НАПИСАНИЯ И ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЕЙ***

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

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

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

1.1. *Введение* предполагает:

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

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

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

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

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

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

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

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

6. Обязательным элементом статьи является индекс УДК.

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

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

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

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

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

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

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

13. Ссылки на литературные источники в тексте заключаются в квадратные скобки [1]. Библиографический список приводится после текста статьи на русском языке 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 <http://journal-gik.wmsite.ru>).

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.