

**ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО  
ИНФРАСТРУКТУРА  
КОММУНИКАЦИИ**

**Выпуск № 4(29) 2022**

**ПО ВОПРОСАМ РАЗМЕЩЕНИЯ СТАТЬИ  
ОБРАЩАТЬСЯ  
В РЕДАКЦИЮ НАУЧНОГО ЖУРНАЛА**

АДРЕС РЕДАКЦИИ:

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

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**

**Выпуск № 4(29)**

**Декабрь, 2022**

- 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**



Издается с 2015 года

## ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО ИНФРАСТРУКТУРА КОММУНИКАЦИИ

Научный журнал

Выходит 1 раз в квартал

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

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

### РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

**Главный редактор:** **Колосов А. И.**, канд. техн. наук, доц.,  
Воронежский государственный технический университет

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

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

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

**Осипова Н.Н.**, д-р техн. наук, доц., Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю. А.

**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. архитектуры, доц., Воронежский государственный технический университет

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

**Куцыгина О.А.**, д-р техн. наук, доц., Воронежский государственный технический университет

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

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

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

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

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

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

Редактор: *Петрикеева Н. А.* Отв. секретарь: *Аралов Е. С.* Дизайн обложки: *Чуйкина А. А.*

Дата выхода в свет 02.12.2022. Усл. печ. л. 5,5. Формат 60×84/8. Тираж 35 экз. Заказ № 399

Свидетельство о регистрации ПИ № ФС77-68664

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

Цена свободная

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

Адрес редакции: 394006, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84, ком. 2133;

тел.: +7(473)271-53-21; e-mail: gik\_vgasu@mail.ru

ОПЕЧАТАНО: отдел оперативной полиграфии издательства ВГТУ

394006, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84

**СОДЕРЖАНИЕ**

<b>ТЕОРИЯ И ИСТОРИЯ АРХИТЕКТУРЫ, РЕСТАВРАЦИЯ И РЕКОНСТРУКЦИЯ ИСТОРИКО-АРХИТЕКТУРНОГО НАСЛЕДИЯ.....</b>	<b>6</b>
<i>Зима А. Г.</i> Градостроительное развитие деревни Новосаратовка и прилегающих к ней территорий.....	6
<b>ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ, ВЕНТИЛЯЦИЯ, КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА, ГАЗОСНАБЖЕНИЕ И ОСВЕЩЕНИЕ.....</b>	<b>12</b>
<i>Китаев Д. Н., Ястребов Т. О.</i> Обоснование места установки котельной жилого района.....	12
<i>Харин С. О., Гасанов З. С., Аралов Е. С., Кратько А. А.</i> Повышение физико-механических свойств газопровода за счет ребер жесткости.....	17
<i>Волох А. С., Гасанов З. С., Тульская С. Г.</i> Причины возникновения аварий при эксплуатации магистральных газопроводов.....	23
<b>СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ.....</b>	<b>29</b>
<i>Кумицкий Б. М., Саврасова Н. А., Аралов Е. С.</i> Дифференциальное моделирование процесса изотермического прессования слоистого пластика.....	29
<b>СТРОИТЕЛЬСТВО И ЭКСПЛУАТАЦИЯ НЕФТЕГАЗОПРОВОДОВ, БАЗ И ХРАНИЛИЩ .....</b>	<b>34</b>
<i>Долбилова М. А., Калинина А. И., Попова Н. М., Плаксина Е. В.</i> Коррозия резервуаров для хранения нефти и нефтепродуктов и методы их защиты.....	34
<b>ПОЖАРНАЯ И ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ (В СТРОИТЕЛЬСТВЕ).....</b>	<b>40</b>
<i>Беленко И. В., Склярков К. А., Петрикеева Н. А.</i> Надежность работы тепловых электрических станций.....	40
<b>ПРАВИЛА НАПИСАНИЯ И ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЕЙ.....</b>	<b>46</b>

---

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

---

УДК 711.4

### ГРАДОСТРОИТЕЛЬНОЕ РАЗВИТИЕ ДЕРЕВНИ НОВОСАРАТОВКА И ПРИЛЕГАЮЩИХ К НЕЙ ТЕРРИТОРИЙ

А. Г. Зима

---

*Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет  
А. Г. Зима, студент кафедры градостроительства  
Россия, г. Санкт-Петербург, тел.: +7(911)238-07-58, e-mail: zimaandrei@mail.ru*

---

**Постановка задачи.** С точки зрения устойчивого пространственного развития периферийных территорий российских агломераций необходимо, чтобы проектные градостроительные предложения по трансформации пространственно-планировочной структуры территорий были скоррелированы с подробным исследованием истории места. В работе исследована историко-градостроительная филиация территории населённого пункта деревня Новосаратовка (и смежных с ним) Свердловского городского поселения Ленинградской области периферийной зоны Санкт-Петербургской агломерации.

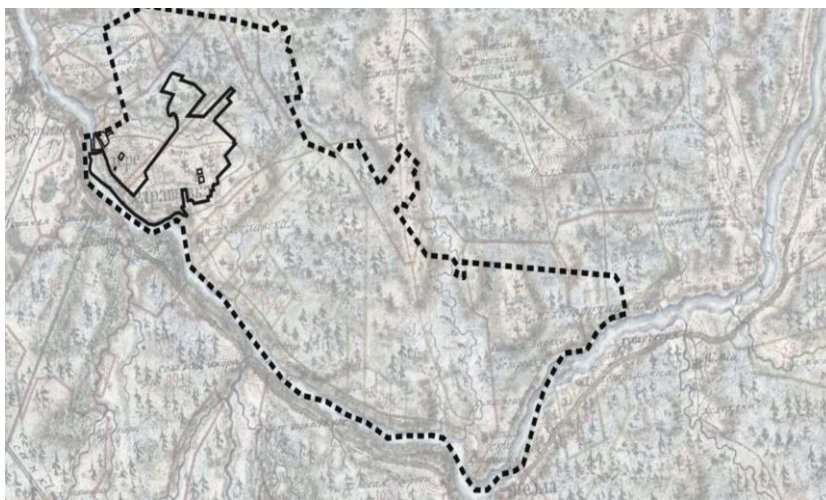
**Результаты.** Описаны основные градостроительные преобразования в рамках принятых шести исторических этапов с иллюстрацией их на схемах исторического развития территорий. Для охарактеризования преобразований территорий в рамках вышеизложенных этапов были предложены «ядра» (жилая застройка; производство, инженерная инфраструктура; культура; сельское хозяйство), направления развития с отображением численности населения, существующих и новых объектов.

**Выводы.** Представленные в данной статье исследования историко-градостроительного развития территории деревни Новосаратовка и прилегающих к ней населённых пунктов совместно с другими предпроектными исследованиями станут своего рода базисом для формирования градостроительных концептуальных предложений по комплексному развитию территорий.

**Ключевые слова:** агломерация, периферийные территории, деревня, Новосаратовка, развитие, исторические этапы, филиация, Ленинградская область.

**Введение.** В современной научной теоретической и практической градостроительной повестке тематика устойчивого пространственного развития периферийных территорий российских агломераций, в частности Санкт-Петербургской агломерации, играет значительную роль [1]. Релевантным является формирование стратегических и концептуальных градостроительных предложений по комплексному освоению данных территорий, создание комфортной городской среды со своей идентичностью и культурным кодом [1]. Вследствие чего важно, чтобы проектные градостроительные предложения по трансформации пространственно-планировочной структуры территорий были скоррелированы с подробным исследованием истории места [2].

В данной работе исследована историко-градостроительная филиация территории населённого пункта деревня Новосаратовка (и смежных с ним) Свердловского городского поселения Ленинградской области. Для систематизации градостроительных преобразований указанных территорий в рамках исследования было выявлено 6 характерных этапов – 1762–1795 гг., 1796–1836 гг., 1837–1916 гг., 1917–1956 гг., 1957–1986 гг., 1987– настоящее время (с учётом этапов развития Санкт-Петербургской агломерации) [2, 3]. Для охарактеризования преобразований территорий в рамках вышеизложенных этапов предложены «ядра» (жилая застройка; производство, инженерная инфраструктура; культура; сельское хозяйство), направления развития с отображением численности населения, существующих или новых объектов (рис. 1).



**Рис. 1.** Ситуационная схема – 1 этап, 1792 г.: ■■■■ - современная граница Свердловского городского поселения; — - современная граница деревни Новосаратовка [4]

**1. Первый исторический этап (1762–1795 гг.).** В 1763 г. императрицей Екатериной II был издан манифест, который позволил иностранцам приезжать на постоянное место жительства в Россию, вследствие чего на правом берегу реки Невы была образована Новосаратовская немецкая колония (рис. 2) [4].



**Рис. 2.** Схема исторического развития территорий – 1 этап, 1792 г.: — — границы Санкт-Петербургского уезда [4]

**2. Второй исторический этап (1796–1836 гг.).** Данный этап определяется увеличением площади сельскохозяйственных земель, постепенным развитием улично-дорожной сети, жилой и общественной застройкой села Малая Саратовка и окружающих её новых поселений. В 1833 году было заложено новое каменное здание лютеранской церкви Святой Екатерины, а с 1828 по 1831 год петербургским архитектором В. И. Беретти создавался усадебный комплекс (дача Дубянского) (рис. 3) [5, 6].

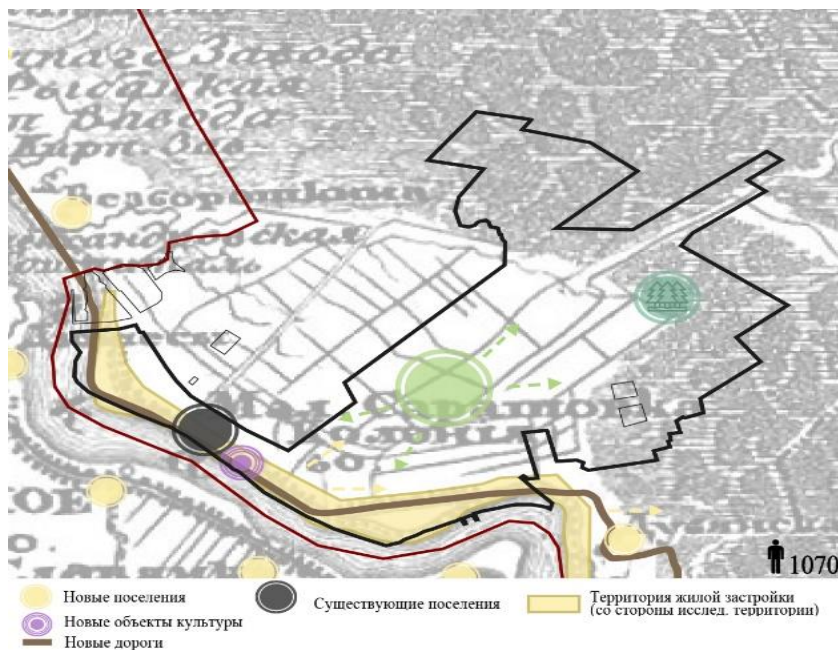


Рис. 3. Схема исторического развития территорий – 2 этап, 1834 г. [4]

**3. Третий исторический этап (1837–1917 гг.).** Продолжается формирование улично-дорожной сети на северо-западе, в северо-восточном и юго-западном направлениях (рис. 4).

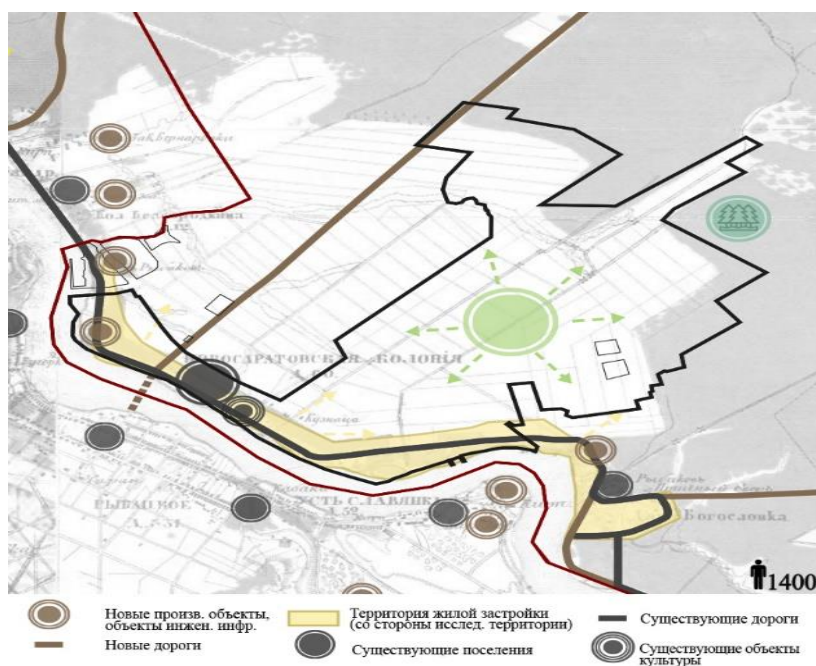
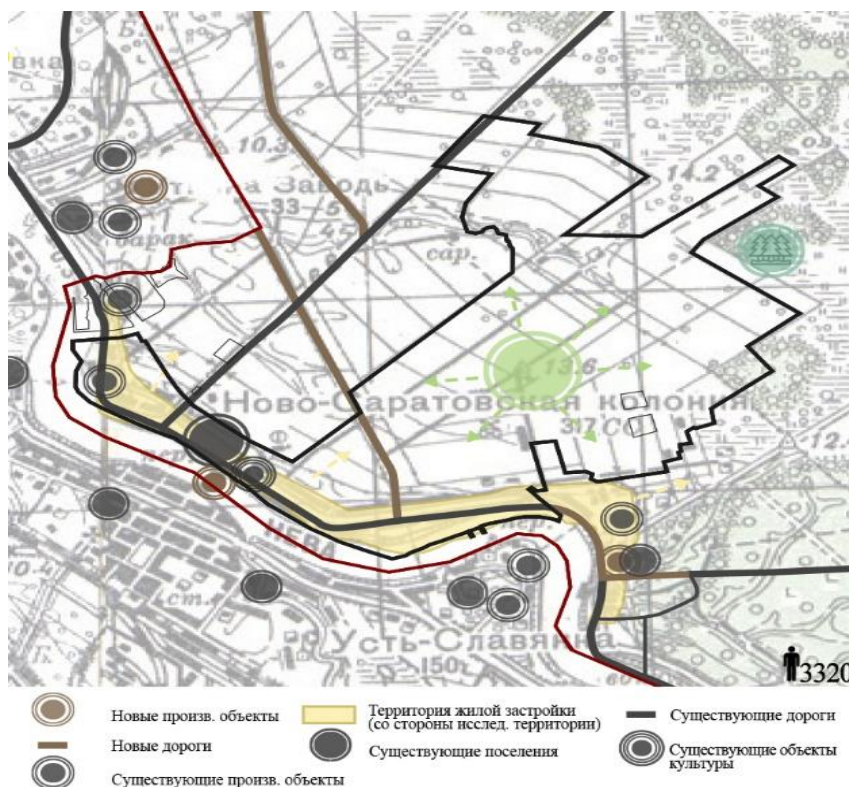


Рис. 4. Схема исторического развития территорий – 3 этап, 1860 г. [4]



В это время были соединены два берега с помощью переправы; наблюдается последовательный рост сельскохозяйственных угодий; уменьшается площадь неосвоенных территорий; развивается промышленная (кирпичные заводы Уткиной Заводи) и жилая застройка с локальными объектами социально-бытового обслуживания [4].

**4. Четвёртый исторический этап (1917–1956 гг.).** Вследствие реорганизации градостроительной системы страны Ново-Саратовская колония стала центром Новосаратовского сельсовета [7, 8]. Расположение урбанизированных и природных (Невского лесопарка) территорий обретает современный вид (рис. 5).



**Рис. 5.** Схема исторического развития территорий – 4 этап, 1940 г. [4]

Позиции сельского хозяйства как важного фактора для развития территорий сильно укрепляются: «развёртываются» молочно-огородное хозяйство, дачный промысел, колхоз «Красный механизатор» [4]. Тождественным образом промышленные предприятия (в том числе энергетического комплекса) совместно с рядом объектов транспортной инфраструктуры (обустройство станций, причала и др.) Уткиной заводи детерминировали превращение места в мощный логистический центр Всеволожского района [9]. Во время Великой Отечественной войны немецкое население было депортировано, были организованы госпитали военного времени, изменился облик территорий, паром обеспечивал связь двух берегов [10].

**5. Пятый исторический этап (1957–1986 гг.).** Пространственно-планировочный каркас территорий преобразуется преимущественно благодаря строительству инженерной и транспортной инфраструктуры (подача электроэнергии стала осуществляться по воздушным линиям электропередач с образованием охранный зоны) [4].

В 1960 году Ансамбль дачи Зиновьева был признан памятником истории и культуры общесоюзного значения, тем не менее к концу 60-х годов он был утрачен (рис. 6) [6].

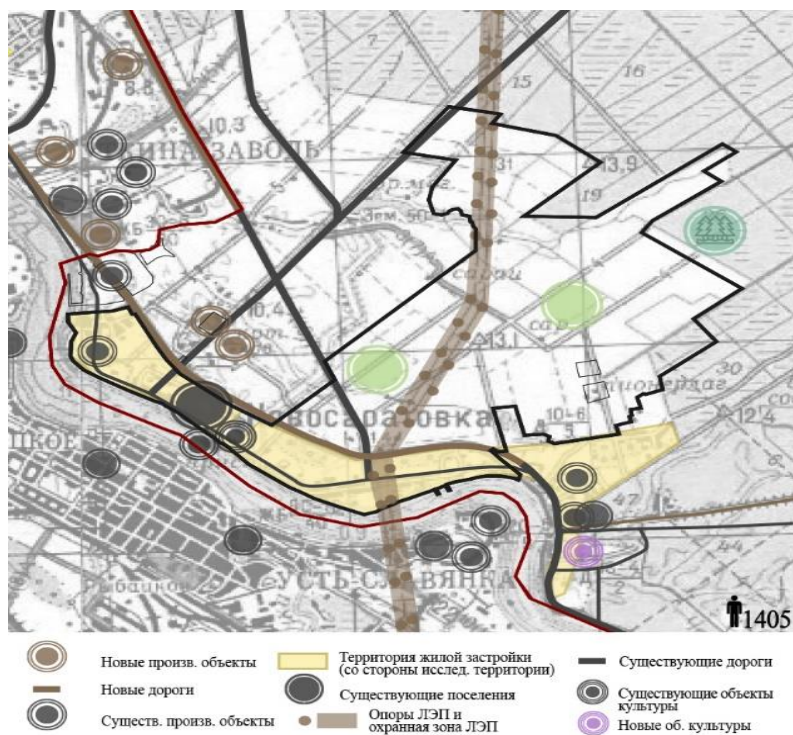


Рис. 6. Схема исторического развития территорий – 5 этап, 1981 г. [4]

**6. Шестой исторический этап (1987–настоящее время).** Появление новых внешних магистралей у территории обуславливает «привязку» её к системе города (строительство Кольцевой автомобильной дороги, развязки со съездом на Октябрьскую набережную и автодорогу «Санкт-Петербург – завод имени Свердлова – Всеволожск»), однако к росту численности населения это не приводило (рис. 7).

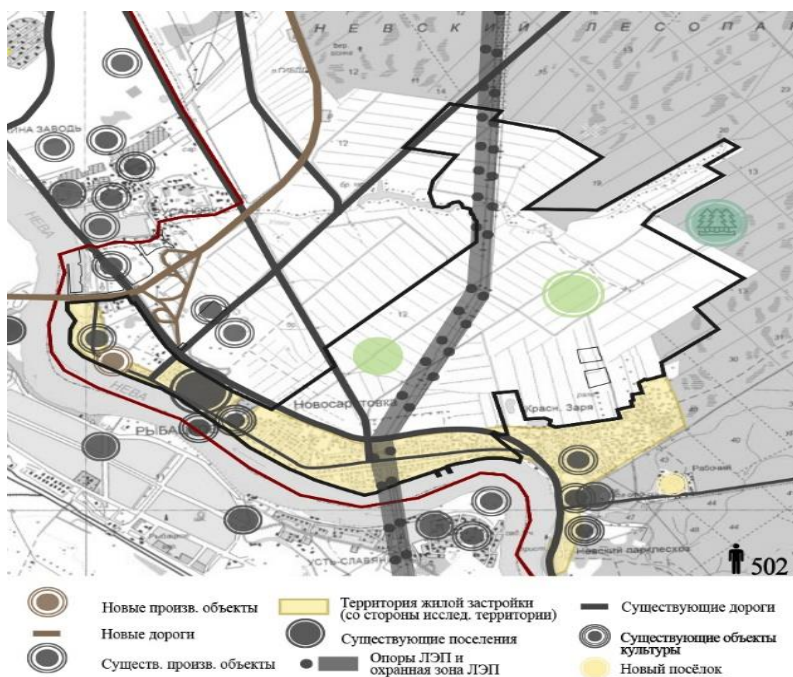


Рис. 7. Схема исторического развития территорий – 6 этап, 2005 г. [4]

Принцип освоения территорий сохранялся линейно-береговым до разработки генерального плана Свердловского городского поселения, когда был намечен путь к комплексному освоению территории населённого пункта деревня Новосаратовка. Важной составляющей развития места стало сохранение историко-культурной среды и формирование православно-патриотической (согласно генеральному плану Свердловского городского поселения):

- благоустройство братских захоронений советских воинов и военных моряков, погибших в 1941–1944 гг. (объектов культурного наследия (ОКН) регионального значения), памятных знаков на месте бывшей стоянки эсминцев-миноносцев (выявленных ОКН);
- признание «Ансамбля дачи Зиновьева (усадьба «Богословка»), XVIII–XIX вв.» компонентом объекта всемирного наследия ЮНЕСКО «Исторический центр Санкт-Петербурга и связанные с ним группы памятников», ОКН федерального значения;
- образование уникального культурно-этнографического музея «Усадьба Богословка»).

В настоящее время началось поэтапное освоение территории, осуществляется реализация утверждённых проектов планировки территории юго-западных кварталов. Методика исследования базируется на изучении и обобщении библиографических и графических источников (планов) по данной тематике, описании основных градостроительных преобразований в рамках принятых исторических этапов с иллюстрацией их на схемах исторического развития территорий [2, 3].

**Выводы.** Представленные в данной статье исследования историко-градостроительного развития территории деревни Новосаратовка и прилегающих к ней населённых пунктов совместно с другими предпроектными (аналитическими) градостроительными исследованиями станут своего рода базисом для формирования градостроительных стратегических (концептуальных) предложений по комплексному развитию территорий. Для создания комфортной городской среды на территории населённого пункта периферийной зоны Санкт-Петербургской агломерации на основе следующих «векторов» развития (экологического, социально-культурного и общественно-делового).

#### Библиографический список

1. Зима А.Г., Шило А.А. Потенциалы и стратегии развития периферийных территорий Санкт-Петербургской агломерации (на примере деревни Новосаратовка) // Инженерный вестник Дона. 2022. № 7. С.54–59.
2. Зима А.Г. Историко-градостроительное развитие территории исторического района Семенцы // Научные известия. 2021. № 23. С. 16–22.
3. Семенцов С.В. Градостроительное развитие Санкт-Петербурга в 1703–2000-е годы: дис. ...д-ра арх., спец. 18.00.01. СПб., 2007. 349 с.
4. Исторические карты Всеволожского района [Электронный ресурс]. URL: <https:// vsevinfo.ru> (дата обращения 05.07.2022).
5. Немецкая колония в Новосаратовке под Санкт-Петербургом. Страницы истории XIX-XX веков. 2 изд., перераб. и доп. / Сост. С. А. Шмидт. СПб., 2013. 352 с.
6. Александрова Е.Л. Санкт-Петербургская губерния. Исторический очерк. СПб., 2011. 528 с.
7. Кормильцева О.М., Лоханов Г.И. Усадьба Богословка – Зиновьево – Невский лесопарк // Памятники истории и культуры Санкт-Петербурга. Краеведческие записки. Вып. девятый. СПб., 2004. С. 94–121.
8. Зима А.Г. Реконструкция и развитие Петрограда – Ленинграда (1918 – 1941 гг.). Предпосылки и реализация // Градостроительство. 2021. № 2 (72). С. 12–15.
9. Исторические районы Петербурга от А до Я / С.Е. Глезеров. М.: Центрполиграф, 2013. 491 с.
10. Черказьянова И.В. Ленинградские немцы в годы войны: события 1941–1942 гг. Немцы в Санкт-Петербурге: Биографический аспект. XVIII – XX вв. / Российская Академия наук, Музей антропологии и этнографии им. Петра Великого (Кунсткамера). 2013. С. 321–348.

*Для цитирования:* Зима А.Г. Градостроительное развитие деревни Новосаратовка и прилегающих к ней территорий // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. 2022. № 4 (29). С. 6–11.

---

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

---

УДК 697.341

### ОБОСНОВАНИЕ МЕСТА УСТАНОВКИ КОТЕЛЬНОЙ ЖИЛОГО РАЙОНА

Д. Н. Китаев, Т. О. Ястребов

---

*Воронежский государственный технический университет*

*Д. Н. Китаев, канд. техн. наук, доц. кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела*

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

*Воронежский техникум строительных технологий*

*Т. О. Ястребов, преподаватель*

*Россия, г. Воронеж, тел. +7(951)549-79-11, e-mail: t-yastrebov@mail.ru*

---

**Постановка задачи.** Одной из важнейших задач при проектировании системы теплоснабжения является определение оптимальной конфигурации тепловых сетей. В условиях существующей городской застройки новые районы в городах строятся обычно на окраинах и свободных площадях. В таких условиях возникает вопрос о месте строительства котельной, так как ее расположение влияет на конфигурацию тепловой сети, а, следовательно, на стоимость проекта в целом. Важной задачей является выбор места установки котельной, обеспечивающего минимальное значение различных критериев оптимальности системы.

**Результаты.** Предложены три варианта системы теплоснабжения района города, предусматривающие различные места установки котельной. Для каждого варианта проведены расчеты значений материальной характеристики тепловой сети, затрат мощности на перекачку теплоносителя потребителю и капитальных вложений в строительство.

**Выводы.** В результате многокритериального анализа возможных вариантов размещения источника генерации теплоты, выявлено оптимальное место установки котельной жилого района.

**Ключевые слова:** теплоснабжение, тепловые сети, котельная, материальная характеристика, мощность насоса, капитальные вложения.

**Введение.** В настоящее время идет активное строительство новых систем теплоснабжения городских микрорайонов, а также реконструкция уже существующих. При проектировании тепловых сетей важным аспектом является поиск оптимального варианта системы теплоснабжения. Используются различные критерии, позволяющие проводить оценку проектов [1–3]. Современными исследователями преимущественно рассматривается поливариантность трассировки тепловой сети, когда принимается несколько равноценных вариантов и, на основе поиска минимума значений критериев, выбирается оптимальный. Место установки котельной обычно считается заданным, однако, на практике возможны несколько вариантов размещения источника теплоснабжения.

В городах активно застраиваются периферийные территории, на которых есть возможность разместить котельную в нескольких местах. При рассмотрении вариантов

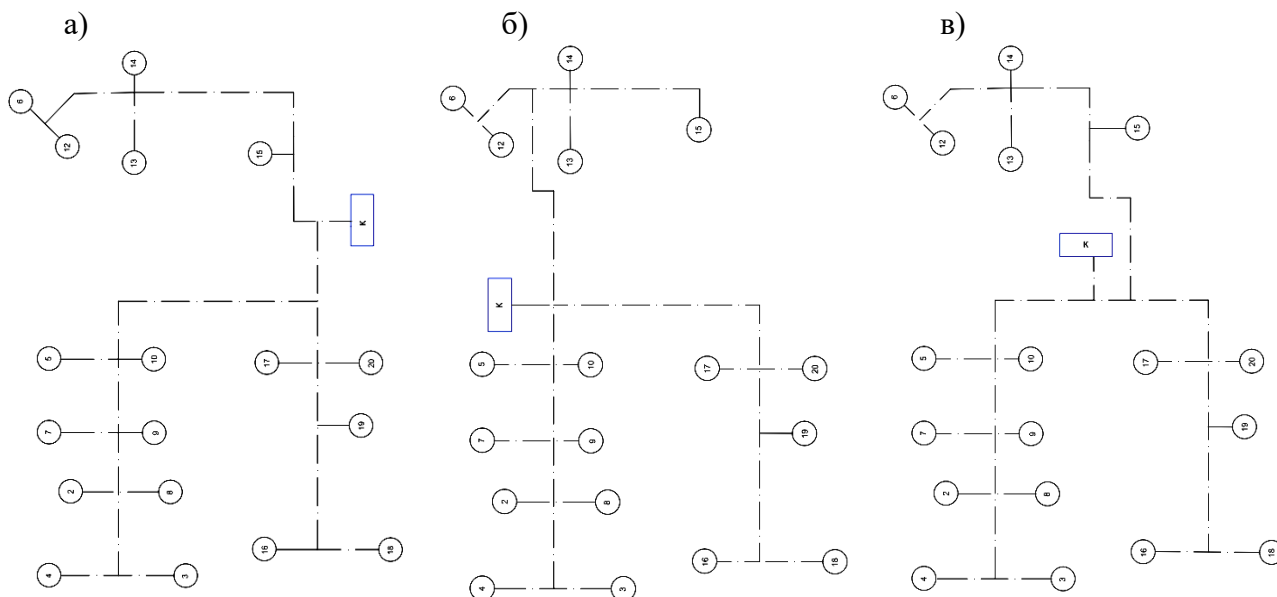
---

необходимо учитывать санитарные и строительные нормы размещения котельной и в ряде случаев именно они и определяют место расположения источника теплоснабжения. Но при наличии возможности размещения в нескольких местах с выполнением всех требований, возникает необходимость выбора наиболее рационального варианта. Очевидно, что выбор места установки источника влияет на конфигурацию тепловых сетей и задачей является найти наиболее целесообразную по ряду критериев [4–6].

Одним из наиболее распространенных критериев является материальная характеристика сети [3, 7, 8], от которой зависят капитальные вложения в строительство. Часто отысканием этого параметра ограничиваются и по его минимальному значению принимают окончательный вариант. При эксплуатации тепловых сетей важным показателем является расход электроэнергии на транспортировку теплоносителя, который зависит от напора и подачи насосов. Напор насоса учитывает, в том числе, и затраты на преодоление сопротивления тепловой сети.

**1. Варианты структуры системы теплоснабжения.** В качестве объекта исследования был выбран перспективный район строительства в г. Белгород. Жилой район состоит из восемнадцати зданий, из которых девять являются многоквартирными жилыми домами высотой от 5 до 9 этажей, а остальные общественными. В районе будет располагаться детский сад, школа, спорткомплекс, кинотеатр, супермаркет, поликлиника, два общежития и офисное здание. Расчетная тепловая нагрузка района составляет 15 МВт [9–11].

В качестве источника теплоснабжения рассматривается газовая котельная. Система теплоснабжения принята двухтрубная, закрытая, с независимым подключением потребителей. Проектный температурный график регулирования тепловой нагрузки 105/70 [5, 6]. Прокладка тепловой сети планируется подземная в непроходных каналах. Рассматриваемые варианты места установки котельной и конфигурации тепловых сетей представлены на рисунке 1.



**Рис. 1.** Варианты установки котельной: а - вариант №1; б - вариант №2; в - вариант №3

**2. Нахождение значений критериев оптимальности системы.** Для представленных на рис.1 конфигураций был проведен гидравлический расчет, позволивший установить диаметры трубопроводов тепловой сети. В таблице представлены диаметры участков сети и их протяженность для рассматриваемых вариантов.

## Диаметры и протяженность тепловых сетей

Диаметр сети, мм	Вариант №1	Вариант №2	Вариант №3
325x8	41,5	41,5	41,5
273x7	274,1	53,7	160
219x7	69,22	69,22	69,22
159x4,5	606,78	293,38	404,28
133x4	282,2	520,3	452,2
108x4	427,7	364,5	398,2
89x3,5	210,9	227,6	227,6
76x3,5	187,9	311,4	162
57x3,5	26,2	46,44	76,04
Общая протяженность сети, м	2126,5	1928,04	1991,04
Материальная характеристика сети, м <sup>2</sup>	318,222	245,090	276,658

Капитальные вложения в строительство тепловой сети были определены по укрупненным нормативам цены строительства [7, 8], в которых за базовый принят 2017 год. Расчеты проводились с учетом данных Росстата по значению инфляции для рассматриваемой территории за пять лет, составляющей 27 %. Из таблицы следует, что протяженность тепловых сетей (в однострубно́м исчислении) имеет наименьшее значение во втором варианте.

На рисунке 2 представлены материальные характеристики  $M$ , м<sup>2</sup> вариантов и значения капитальных вложений в строительство  $C$ , млн. руб. Как видно из рис. 2, наиболее предпочтительный по критерию стоимости является второй вариант.

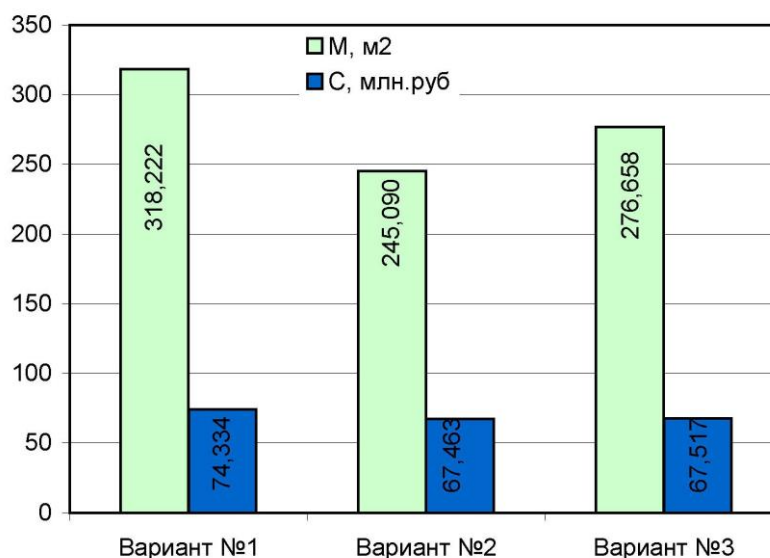


Рис. 2. Значение материальной характеристики ( $M$ ) и капитальных вложений ( $C$ )

Важным эксплуатационным параметром работы системы теплоснабжения являются затраты на транспортировку теплоносителя потребителю [12–15].

Мощность привода сетевого насоса определялась по формуле [16]:

$$N = \frac{10^{-3} Q \rho g H}{3600 \eta \eta_M \eta_{\Delta}},$$

где  $Q$  – значение подачи насоса, м<sup>3</sup>/ч;  $H$  – напор насоса, м.вод.ст.;  $\rho$  – плотность теплоносителя (воды), кг/м<sup>3</sup>;  $g$  – ускорение свободного падения тела, м/с<sup>2</sup>;  $\eta_{\Delta}$  – электрический коэффициент полезного действия (КПД) насоса;  $\eta_M$  – КПД механической передачи;  $\eta$  – КПД насоса.

При использовании независимой схемы подключения абонентов напор сетевого насоса должен быть достаточен для преодоления сопротивления индивидуального теплового пункта (узел ввода, теплообменные аппараты, арматура и т.д.) и потерь в тепловой сети (для двух труб). При определении напора насоса для каждого варианта учитывались требования современных правил эксплуатации тепловых энергоустановок, в части минимальных значений давлений в подающем и обратном трубопроводе [17–21].

На рисунке 3 представлены значения напора насоса и мощности его привода для каждого варианта.

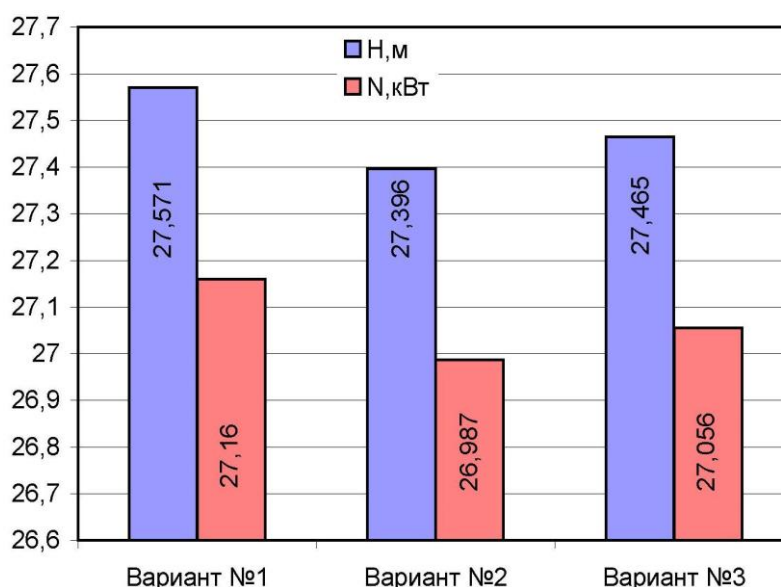


Рис. 3. Напор (H) и мощность (N) сетевого насоса

Из рисунка 3 следует, что минимальное значение эксплуатационных затрат, связанных с транспортировкой теплоносителя, будут наблюдаться при втором варианте компоновки системы теплоснабжения [22–24].

**Выводы.** В работе рассмотрены три варианта размещения источника теплоты перспективного района строительства. Для каждого варианта запроектированы тепловые сети. На основе анализа вариантов размещения источника по критериям материальной характеристики, затрат мощности на перекачку насоса и капитальных вложений в строительство был определен наиболее оптимальный вариант расположения источника выработки энергии.

#### Библиографический список

1. Мелькумов В.Н., Кузнецов И.С., Кобелев В.Н. Выбор математической модели трасс тепловых сетей // Научный вестник ВГАСУ. Строительство и архитектура. 2011. №2(22). С. 31–36.

2. Мелькумов В.Н., Кузнецов И.С., Кобелев В.Н. Задача поиска оптимальной структуры тепловых сетей // Научный вестник ВГАСУ. Строительство и архитектура. 2011. №2(22). С. 37–42.
3. Каширин М.А., Китаев Д.Н. Выбор оптимальной трассы тепловых сетей промпредприятия // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. 2018. №2(11). С. 9–12.
4. Влияние температурного графика тепловой сети на материальную характеристику / Е.А. Лобова, О.Ю. Ильин, А.Г. Ляхнович, Д.Е. Чебуланкин // Высокие технологии в строительном комплексе. 2020. №1. С.198–203.
5. Докучаева С.А., Жиргалова Т.Б. Выбор источника теплоснабжения для вновь построенных зданий по ул. дорожная Чкаловского района г.Екатеринбурга // Энерго- и ресурсосбережение в теплоэнергетике и социальной сфере: материалы Международной научно-технической конференции. 2018. №1. С. 88–90.
6. Лобода А.В., Чуйкина А.А. Проектирование трасс систем теплоснабжения на основе системного анализа // Научный журнал строительства и архитектуры. 2019. №3(55). С. 11–20.
7. Планирование оптимальной трассы систем теплоснабжения при равномерном распределении тепловой нагрузки / А.А. Чуйкина, Е.В. Плаксина, А.Р. Бохан, К.А. Григорьева // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. 2019. №2(15). С. 50–57.
8. Критерии оптимальности и условия сравнения проектных решений систем теплоснабжения / В.Н. Мелькумов, К.А. Скляров, С.Г. Тульская, А.А. Чуйкина // Научный журнал строительства и архитектуры. 2017. №4(48). С. 29–37.
9. Китаев Д.Н. Расчет температуры наружного воздуха в точке излома температурного графика // Новости теплоснабжения. 2012. №10. С. 46–48.
10. Китаев Д.Н. Современные отопительные приборы и их показатели // Сантехника, Отопление, Кондиционирование. 2014. №1(145). С. 48–49.
11. Черных Е.М., Китаев Д.Н. Математическая модель конвективного теплопереноса при зарядке теплового аккумулятора // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2007. №6. С. 124–128.
12. Семенов В.Н., Китаев Д.Н., Овсянников А.С. Актуальные проблемы теплоснабжения муниципальных образований (на примере городского округа город Воронеж) // Вестник центрального регионального отделения Российской академии архитектуры и строительных наук. 2015. №14. С. 100–108.
13. Китаев Д.Н. Расчет нефтяного насоса и построение рабочей характеристики. Учебно-методическое пособие / Д.Н. Китаев. Воронеж: Воронежский ГАСУ, 2015. 66 с.
14. 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. Энергосберегающие мероприятия в многоквартирных жилых домах / Д.М. Чудинов, Т.В. Щукина, Н.А. Петрикеева, Н.М. Попова // Высокие технологии в строительном комплексе. 2019. №1. С. 32–36.
16. Гладышева Т.Ю., Петрикеева Н.А., Заид Т.М. Децентрализация как способ реконструкции инженерных систем зданий и сооружений // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. 2017. №1(6). С. 14–18.
17. Гладышева Т.Ю., Петрикеева Н.А. Основные направления реконструкции инженерных систем зданий и сооружений // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. 2016. №2(23). С. 14–21.
18. Оценка технического состояния тепловых сетей в РФ / Н.М. Попова, В.Е. Таран, Н.А. Петрикеева, Д.М. Чудинов // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. 2021. №1(22). С. 16–21.
19. Петрикеева Н.А. Использование полной теплоты сгорания топлива в котельных установках // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. 2014. №4-2(17). С. 76–80.
20. Копытина Е.А., Петрикеева Н.А., Чудинов Д.М. Реализация программы расчета для оптимизации трассировки тепловых сетей // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. 2022. №2(21). С. 63–73.
21. Турбин В.С., Петрикеева Н.А. Методика технико-экономического обоснования схем теплогенерирующих установок с напорными теплоутилизаторами // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2006. №6. С. 120–122.
22. Зайцев О.Н. Критерии оценки и анализа территории теплоснабжения для проведения инженерного районирования // Строительство и техногенная безопасность. 2016. №5(57). С. 43–48.
23. Кожемякин Д.П. Стратегические варианты развития городской системы теплоснабжения // Вестник Новосибирского государственного университета. 2008. №2. С. 130–139.
24. Выбор источника теплоснабжения зданий жилой застройки / Д.Н. Ватузов, С.М. Пуриг, Е.Б. Филатова, Н.П. Тюрин // Вестник СГАСУ. Градостроительство и архитектура. 2014. №4(17). С. 86–91.

*Для цитирования:* Китаев Д.Н., Ястребов Т.О. Обоснование места установки котельной жилого района // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. 2022. № 4 (29). С. 12–16.



УДК 624.0

**ПОВЫШЕНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГАЗОПРОВОДА  
ПРИ ПОМОЩИ РЕБЕР ЖЕСТКОСТИ**

С. О. Харин, З. С. Гасанов, Е. С. Аралов, А. А. Кратько

*Воронежский государственный технический университет**С. О. Харин, ассистент кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела**Россия, г. Воронеж, тел.: +7(950)765-99-29, e-mail: kharin\_sergey.93@mail.ru**З. С. Гасанов, канд. техн. наук, доц. кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела**Россия, г. Воронеж, тел.: +7(473)271-53-21, e-mail: teplosnab\_kaf@vgasu.vrn.ru**Е. С. Аралов, ст. преподаватель кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела**Россия, г. Воронеж, тел.: +7(473)271-53-21, e-mail: vgtu.aralov@yandex.ru**А. А. Кратько, студент кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела**Россия, г. Воронеж, тел.: +7(473)271-53-21, e-mail: teplosnab\_kaf@vgasu.vrn.ru*

**Постановка задачи.** В настоящее время для добычи и транспортировки газа используются трубопроводные системы, которые прокладывают двумя известными способами – подземно и надземно. При надземной прокладке газопроводов необходимо учитывать расположение их на опорах. В данной статье рассмотрен вариант расчета увеличения жесткости трубы газопровода с помощью приварки продольных ребер на участки трубопровода, расположенного на опоре.

**Результаты.** Рассмотрено экономическое решение при проектировании надземной прокладки трубопровода с использованием ребер жесткости.

**Выводы.** Рассмотренный в данной работе пример усиления труб ребрами жесткости может быть использован в практических расчетах чтобы увеличить расстояние между опорами, тем самым снизив затраты на материалы, требуемые для возведения опорных конструкций.

**Ключевые слова:** газопровод, ребро жесткости, надземная прокладка, опора, механическая прочность, надежность, расчет.

**Введение.** Надземную прокладку газопроводов чаще всего используют: при пересечении оврагов из-за изменения крутизны откосов; при пересечении рек с неустойчивым руслом; при трассировке на территориях с часто производимыми подземными работами, вследствие чего происходит смещение или оседание грунта; в болотистых местностях; в среде с вечномерзлыми грунтами. Существует также подземная прокладка, которую используют, например, на болотах, но с экономической точки зрения строительство и возведение надземной схемы дешевле метода установки газопровода под землей.

При надземной прокладке газопроводов важно учитывать установку их на опорах, определять величину предельного пролета между опорными конструкциями. Если уменьшить величину пролета, то потребуются установка большего количества опор, а значит замедляется процесс возведения строительного объекта из-за повышенного объема производства работ. Также увеличивается расход материалов, следовательно, конструкция становится дороже.

При уменьшении числа опор вес и длина пролетного перехода увеличиваются, что ведет за собой появление различных деформаций трубопровода. Исходя из этого, важным вопросом становится рациональное расположение опор и определение предельных пролетов газопровода.

К размерам предельных пролетов относятся два вида требований – эксплуатационные и расчетные. Эксплуатационные состоят в обеспечении необходимых условий эксплуатации при работе всей системы, а расчетные заключаются в том, что при одновременно действующих нагрузках предельный пролет должен удовлетворять условиям прочности и устойчивости, т.е. надежности конструкции в целом [1].

Помимо особенностей конструктивного решения и силовых факторов на размер пролета влияют также непредсказуемые ситуации, такие как: просадка или выпучивание опоры; внутреннее давление транспортируемого газа; ветровые и снеговые нагрузки, действующие на газопровод; нагрузки, создаваемые собственным весом трубы с оборудованием и изоляционным покрытием.

Ввиду вышесказанного, становится понятно, какой важной задачей является корректный расчет надземных трубопроводов на воздействие не только статических, но и динамических нагрузок.

**1. Назначение трубопроводных опор.** Во время работы газотранспортной системы трубы, а также установленные на них арматура и оборудование, подвергаются механическим нагрузкам. К ним можно отнести:

- ветровые и снеговые нагрузки;
- гидравлические удары транспортируемой среды;
- объемное, кольцевое и линейное расширение сплавов и металлов;
- вибрации, создаваемые работающим оборудованием;
- сейсмическая активность местности;
- проседание грунта;
- внутреннее давление, действующее на сварные швы и резьбовые соединения.

Опора трубопровода – конструкция, предназначенная для закрепления и удержания отдельных частей трубопроводной системы в проектом положении. Данные изделия рассчитаны для принятия на себя нагрузок, действующих на трубопровод, и дальнейшей передачи этих нагрузок на опорную часть конструкции и почве. По структуре опору, с одной стороны, сооружают плоской для установки на фундамент, изготовленный из бетона, с другой, дугообразной, повторяющей форму трубы. Для различных трубопроводов, отличающихся техническими характеристиками и материалами, существует множество разновидностей опор, которые можно подразделить на подвижные и неподвижные.

К подвижным относятся:

- шариковые опоры, воспринимающие боковые, осевые и горизонтальные нагрузки;
- катковые, служащие для свободного перемещения опоры вместе с трубой с коэффициентом трения, принимаемым равным 0,1;
- скользящие – по принципу действия похожие на катковые, но отличающиеся по конструкции, с коэффициентом, равным 0,3;
- пружинные, которые служат для поглощения вибраций, исходящих от оборудования, установленного по трассе трубопровода, а также для обеспечения надежной работы фланцевых и сварных соединений.

Подвижные опоры при изменении температурного режима обеспечивают компенсацию передвижения трубы. Данные опоры воспринимают вертикальную и горизонтальную нагрузки. Горизонтальная зависит от коэффициента трения трубы с подошвой опоры. Вертикальную нагрузку создает сила тяжести от оборудования, арматуры, изоляционного покрытия и самого трубопровода.

Неподвижные (мертвые) опоры, также, как и подвижные, воспринимают горизонтальные и вертикальные нагрузки. Горизонтальные делятся на осевые, в которых нагрузки действуют по оси трубопровода и распределяются по всем типам неподвижных

опор, и боковые, образующиеся от самокомпенсации трубы у отводов и углах поворота, действующие перпендикулярно оси.

По конструкции неподвижные опоры можно подразделить:

- хомутовые, в состав которых входит стандартный или усиленный хомут, привариваемый упорами к трубе и несущей конструкции;
- лобовые, состоящие из одного и нескольких упоров, которые крепятся методом сварки к трубопроводу в процессе монтажа;
- щитовые, сделанные из железобетонной армированной сетки с заранее забетонированными элементами трубы. Между данными опорами должны устанавливаться компенсаторы.

В надземной прокладке трубопроводов с компенсацией расстояние между опорами зависит от природных условий, схемы прокладки, диаметра труб, числа пролетов и т.д. Например, на нефтепроводах, прокладываемых по балочной схеме, с условным диаметром труб 700–1400 мм расстояние пролета принимают в пределах 25–40 м. На газопроводах с той же схемой прокладки и таким же диаметром – 30–50 м, но с учетом ветрового потока, при котором образуются резонансные колебания, в надземных многопролетных переходах трубопроводов расстояние между опорными конструкциями составляет от 25 до 40 м [2, 3].

От толщины стенки трубы и условного диаметра напрямую зависит жесткость и масса трубопровода. Эти свойства определяются на стадии проектирования трубопроводной системы прочностными и технологическими расчетами. Изменение диаметра или толщины стенок труб повлечет за собой повышение стоимости объекта, так как потребуется больше металла на изготовление трубопровода, а также возможно нарушение параметров перекачки и транспортировки среды из-за отступления от расчетных параметров, определяемых при исходном проектировании. Именно поэтому оказывать влияние на нагрузки, действующие на трубопроводную систему, возможно при изменении расстояния между конструкциями опор.

**2. Применение ребер жесткости для повышения механических свойств газопровода.** Для продолжительной работоспособности металлических газопроводов необходимо учитывать один из важных критериев – условие упругой устойчивости труб и ее конструктивных элементов. При проектировании и расчете надземной прокладки газопроводов важно учитывать то, что металлические трубы имеют плохое сопротивление к деформирующим нагрузкам. Для повышения прочности можно использовать трубы с большей толщиной стенки, но при увеличении металлоемкости трубопровода с добавлением высокопрочных сталей напряжения, действующие на конструкцию опоры, будут возрастать. Ввиду вышесказанного необходимо подобрать оптимальное решение для обеспечения общей устойчивости участков надземного газопровода [4, 5].

Трубопровод – конструкция, служащая для подводов и отводов разнообразных сред, применяемая в различных инженерных сооружениях, современных приборах, машинах и т.д.. Данные изделия, в основном, цилиндрической формы с круглым поперечным сечением, у которых радиус проходного отверстия значительно больше стенки трубы. Именно поэтому трубопроводы обладают упругой податливостью [3, 6].

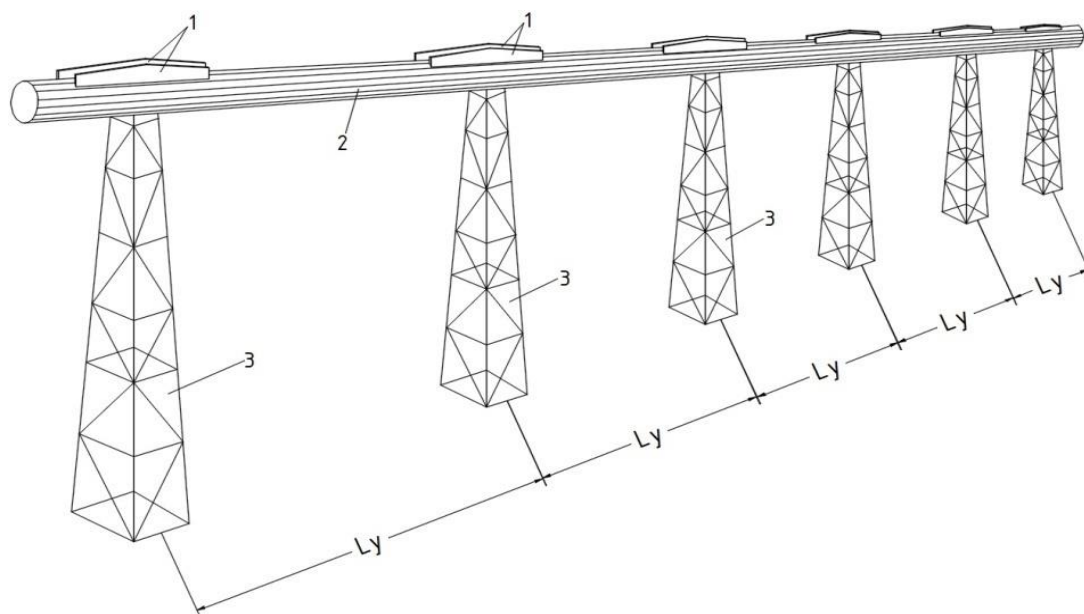
Самым оптимальным решением является подкрепление газопровода ребрами жесткости, которые незначительно повышают массу системы, а также оставляют неизменной конструкцию и геометрию участка трубы.

На трубопровод при эксплуатации действуют статические и динамические нагрузки, что в свою очередь приводят к деформации труб, которые ухудшают внешний вид и работоспособность системы. Ребро жесткости, принимая на себя большее усилие при динамических нагрузках и больший вес при статических, обеспечивает газопроводу защиту от перекосов, сминаний, прогибов и т.д.

На надземный газопровод действуют перерезывающие силы и изгибающие моменты от весовой нагрузки в местах пролета между опорами. Поэтому в данной статье рассматриваются продольные ребра жесткости, которые необходимо располагать неравномерно по периметру в местах повышенных усилий [7].

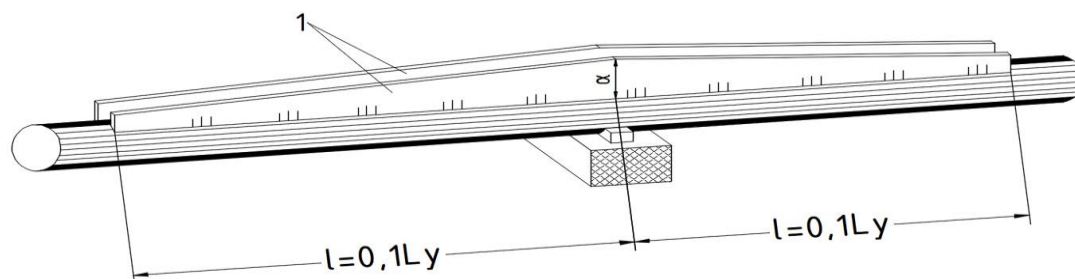
**3. Усиление газовых труб для увеличения расстояний между опорами.** Данный расчет основан на местном увеличении жесткости поперечного сечения труб в местах действия максимальных изгибающих моментов от весовой нагрузки. При помощи приварки ребер жесткости можно увеличить пролет между опорными конструкциями примерно на 40–50 %, затратив средства на материал ребер, который не превышает 10 % от веса трубы.

Исходя из теории неразрезных балок, увеличение расстояния оси опоры от сечения уменьшает величину максимально изгибающих моментов [4]. Поэтому оказать влияние на увеличение расстояния между опорными конструкциями и уменьшение изгибающего напряжения от весовой нагрузки при учете, что напряжения на трубопровод от внутреннего давления газа и осевых сил сравнительно невелики, можно путем приварки продольных ребер жесткости примерно на 0,08–0,1 от пролета в каждую из сторон от опоры (рис.1) [5, 8].



**Рис. 1.** Общий вид трубопровода с приваренными ребрами: 1 – ребро; 2 – трубопровод; 3 – опора;  $L_y$  – расстояние между опорами усиленных труб [4]

Продольные ребра жесткости изготавливают из полосовой горячекатаной стали, высота которой уменьшается по мере удаления от опоры (рис. 2).



**Рис. 2.** Расположение ребер над опорой: 1 – ребра жесткости;  $a$  – высота ребра жесткости [4]

При этом уменьшаются затраты металла, требуемого для изготовления данных ребер.

Аналогично балкам равного сопротивления, изгибу ребра позволяют наиболее полно использовать собственную несущую способность трубопровода по всей его длине. Ребра располагаются в растянутой зоне сечения (рис. 3) и привариваются к трубам под углом  $30^\circ$  к вертикали [9, 10].

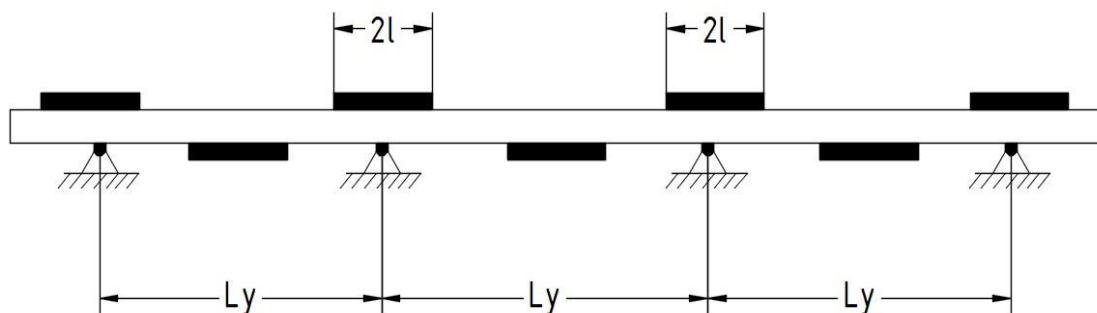


Рис. 3. Схема расположения ребер в пролете и над опорами трубы [4]

Для расчета труб, усиленных ребрами, необходимо определить положение центра тяжести составного сечения – трубы и ребер (рис. 4).

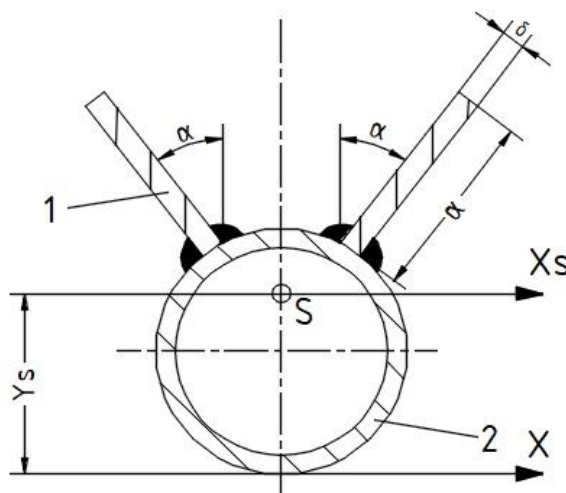


Рис. 4. Схема усиленного сечения с ребрами: 1 – ребро жесткости; 2 – трубопровод;  
 $\alpha$  – угол наклона ребра к вертикальной оси сечения трубы;  $a$  – высота ребра жесткости;  
 $S$  – центр тяжести составного сечения (трубы и ребер);  $\delta$  – толщина ребра;  $y_s$  – расстояние до центра тяжести сечения [2]

Расчет начинаем с определения расстояния до центра тяжести составного сечения по формуле

$$y_s = \frac{\frac{F d_n}{2} + 2a\delta \left( d_n + \frac{a \cos \alpha}{2} \right)}{F + 2a\delta}, \quad (1)$$

где  $F$  – площадь сечения трубы,  $m^2$ ;  $d_n$  – наружный диаметр трубы, м;  $a$  – высота ребра, м;  $\delta$  – толщина ребра, м;  $\alpha$  – угол наклона ребра к вертикальной оси сечения трубы, град.

Затем вычисляется момент инерции составного сечения  $J_s$  относительно оси  $X_s$  и момент сопротивления  $W$  по формуле

$$\left. \begin{aligned} J_s &= J_1 + F \left( y_s - \frac{d_n}{2} \right)^2 + 2a\delta \left( d_n + \frac{a \cos \alpha}{2} - y_s \right)^2; \\ W &= \frac{J_s}{l}, \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

где  $J_1$  – собственный момент инерции трубы (без ребер);  $l$  – расстояние от оси  $X_s$ , проходящей через центр тяжести  $S$ , до наиболее удаленного волокна составного сечения с приваренными ребрами, м.

Расстояние между опорами для усиленных труб определяется по формуле

$$L_y = L_1 \sqrt{\frac{W_s}{W}}, \quad (3)$$

где  $L_1$  – расстояние между опорами неусиленных труб, м;  $W_s$  – момент сопротивления усиленной трубы.

**Выводы.** Данная методика расчета показывает, что приварка ребер жесткости из полосовой стали переменной высоты к трубопроводам может увеличить расстояние пролета между опорами на 40–50 %, тем самым снизив затраты на материалы для строительства опорных конструкций. Использование ребер жесткости повышает надежность газопровода при воздействии статических и динамических нагрузок, что в свою очередь продлевает эксплуатационную службу трубопровода.

#### Библиографический список

1. Кравчук В.А., Кравчук Е.В. Развитие исследований предварительно напряженных строительных металлических конструкций // Вестник гражданских инженеров. 2019. №6(77). С. 86–92.
2. Анализ методов расчета балочных переходов с компенсаторами / Л.И. Быков, Д.А. Гулин, М.И. Камалов [и др.] // Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья. 2019. № 2. С. 19–23.
3. Якубовский А.Ч., Якубовский Ч.А. О методе расчета неразрезных балок // Вестник Белорусского национального технического университета. 2006. № 2. С. 43–48.
4. Торопов С.Ю., Дорофеев В.С., Земенков Ю.Д. Об определении продольной силы в трубопроводе при образовании арки // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2013. № S3. С. 223–229.
5. Оценка технического состояния тепловых сетей в РФ / Н.М. Попова, В.Е. Таран, Н.А. Петрикеева, Д.М. Чудинов // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. 2021. №1(22). С. 16–21.
6. Гладышева Т.Ю., Петрикеева Н.А. Основные направления реконструкции инженерных систем зданий и сооружений // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. 2016. №2(23). С. 14–21.
7. Копытина Е.А., Петрикеева Н.А., Чудинов Д.М. Реализация программы расчета для оптимизации трассировки тепловых сетей // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. 2022. №2(21). С. 63–73.
8. Зарянкин А.Е., Зарянкин В.А., Истомин С.А. Некоторые способы снижения вибрационной нагрузки трубопроводов // Тяжелое машиностроение. 2005. №1. С. 2–7.
9. Волегов П.С., Грибов Д.С., Трусов П.В. Поврежденность и разрушение: обзор экспериментальных работ // Физическая мезомеханика. 2015. №3. С. 11–24.
10. Оценка надежности газоснабжения отдельных потребителей с использованием цифрового моделирования / Г.Н. Мартыненко, Н.А. Петрикеева, С.А. Горских, А.А. Горских // В сборнике: Альтернативная и интеллектуальная энергетика. Материалы II Международной научно-практической конференции. 2020. С. 159–160.

*Для цитирования:* Повышение физико-механических свойств газопровода при помощи ребер жесткости / С.О. Харин, З.С. Гасанов, Е.С. Аралов, А.А. Кратько // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. 2022. № 4 (29). С. 17–22.

УДК 620.19

**ПРИЧИНЫ ВОЗНИКНОВЕНИЯ АВАРИЙ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ  
МАГИСТРАЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ**

А. С. Волох, З. С. Гасанов, С. Г. Тульская

*Воронежский государственный технический университет**А. С. Волох, студент кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела**Россия, г. Воронеж, тел.: +7(473) 271-53-21, e-mail: voloh.a@mail.ru**З. С. Гасанов, канд. техн. наук, доц. кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела**Россия, г. Воронеж, тел.: +7(473)271-53-21, e-mail: zugumgasanov@mail.ru**С. Г. Тульская, канд. техн. наук, доц. кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела**Россия, г. Воронеж, тел.: +7(473)271-53-21, e-mail: tcdtnkyf2014@yandex.ru*

**Постановка задачи.** В ходе данного исследования выделяется основная задача, которая заключается в классификации причин аварий, отказов и повреждений магистральных газопроводов с определением их процентного соотношения, а также выявления основных факторов, влияющих на развитие событий.

**Результаты.** Изучены основные причины и предпосылки возникновения и развития аварий на магистральных газопроводах. Исследованы происшествия в период с 2017 года по 2021 год. Рассмотрены способы и методы предотвращения аварий при эксплуатации магистральных газопроводов.

**Выводы.** Проведен анализ аварий на магистральных газопроводах за последние пять лет, выделены основные причины и определена их частота в процентном соотношении за рассматриваемый период.

**Ключевые слова:** магистральный газопровод, аварии, повреждения, причины аварий, статистика.

**Введение.** В настоящее время протяженность линейной части магистральных трубопроводов на территории России составляет более 260 тыс. км, из них 182 тыс. км – газопроводы; 54 тыс. км – нефтепроводы; 25,4 тыс. км – продуктопроводы. Ключевой задачей организаций, занимающихся транспортировкой газа, нефти и нефтепродуктов, является сохранение работоспособности трубопроводных сетей. Для этого проводят систематический мониторинг и диагностику состояния трубопроводов, текущие и капитальные ремонты. Но, несмотря на вышеизложенные меры, на объектах магистрального трубопроводного транспорта возникают аварии или отказы, которые влекут за собой смертельный травматизм, экологический ущерб и экономические потери.

**1. Причины, вызывающие аварийные ситуации.** Авария на магистральном газопроводе – это неконтролируемый выброс транспортируемого газа в атмосферу или в помещение компрессорной станции, который возникает в результате полного разрушения или частичного повреждения трубопроводов, их элементов и устройств. Как правило, выброс сопровождается взрывом или воспламенением газа, повреждением или разрушением объектов линейной части, потерей 10000 м<sup>3</sup> газа и более, а также травмированием обслуживающего персонала [1].

Аварии на линейной части магистральных газопроводов происходят, как правило, по следующим причинам [2, 3]:

1. Воздействие стихийных явлений природного происхождения приводят к коррозии и смещению оси трубопровода от проектного положения, а также к разгерметизации, которая влечет за собой пожар, взрыв и выброс токсических веществ в окружающую среду. К опасным природным процессам относят: оползни, землетрясения, сход селей, оттаивание многолетнемерзлых грунтов, дождевые паводки, приводящие к размыву или обводнению траншей.

2. Воздействие на трубопровод среды перекачиваемого продукта, а также внешних условий, которые приводят к коррозионным процессам, а в дальнейшем и к разгерметизации газопровода (рис. 1).



**Рис. 1.** Коррозионное растрескивание под напряжением (КРН) в основном металле трубы (участок 1158,2 км –1181,1 км магистрального газопровода «Ямбург–Поволжье» 06.05.2019) [3]

3. Механическое воздействие строительной техникой на трубопровод при проведении земляных работ, которое может привести к нарушению целостности газопровода и выходу его из строя (рис. 2).



**Рис. 2.** Механическое воздействие на газопровод клыком-рыхлителем экскаватора (8,5 км газопровода отвода к г. Фурманов и к г. Приволжск, 13.08.2020) [3]



4. Ошибки в действиях персонала и нарушение установленных правил при эксплуатации, приводящие к утечке газа и выходу из строя оборудования.

5. Нарушения норм производства трубопроводов (рис. 3), которые приводят к образованию недопустимых включений в стенках труб и дальнейшему разрушению газопроводов, а также несоблюдение технологии сварки при проведении строительно-монтажных работ (рис. 4).



**Рис. 3.** Производственный заводской брак основного металла газопровода (участок магистрального газопровода Невинномысского ЛПУМГ, 14.12.2021) [3]



**Рис. 4.** Развитие трещины в околошовной зоне сварного соединения вследствие дефектов, образовавшихся по причине нарушения технологии сварки (2445 км магистрального газопровода «Ямбург-Тула-1», 03.03.2018) [3]

6. Конструктивные недостатки или неисправность оборудования, приборов и средств автоматизации, технологической связи и телемеханизации.

7. Повышенные эксплуатационные циклические нагрузки на газопровод, приводящие к усталостному разрушению трубопровода и его износу.

**2. Анализ аварийных ситуаций на магистральных газопроводах за 2017–2021 гг.** Для проведения количественного анализа статистических данных аварий обратимся к

документации, подготовленной Федеральной службой по экологическому, технологическому и атомному надзору (Ростехнадзор) за последние пять лет, и рассмотрим несколько произошедших аварийных ситуаций по различным причинам [3]. На основе ежегодных отчетов о деятельности Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору составим таблицу аварийных ситуаций на магистральных газопроводах с 2017 г. по 2021 г. [4, 5].

Распределение по видам аварийных ситуаций на магистральных газопроводах в период с 2017 г. по 2021 г.

Виды аварийных ситуаций	Число аварийных ситуаций по годам, ед.				
	2017 г.	2018 г.	2019 г.	2020 г.	2021 г.
Коррозия металла труб	4	2	-	2	2
Механические воздействия	-	4	-	3	-
Брак строительства/изготовления	-	1	-	2	3
Конструктивные недостатки	1	2	-	-	-
Ошибочные действия персонала при эксплуатации	-	-	-	-	-
Износ трубопроводов	-	1	4	1	-
Воздействие стихийных явлений природного происхождения	-	-	-	-	-
Всего аварий на МГ	5	10	4	8	5
Случаи смертельного травматизма	-	-	-	2	-

Анализ аварий магистральных газопроводов по причинам их возникновения предоставляет возможность распределить аварийные ситуации в процентном соотношении, которое представим в виде диаграммы (рис. 5).

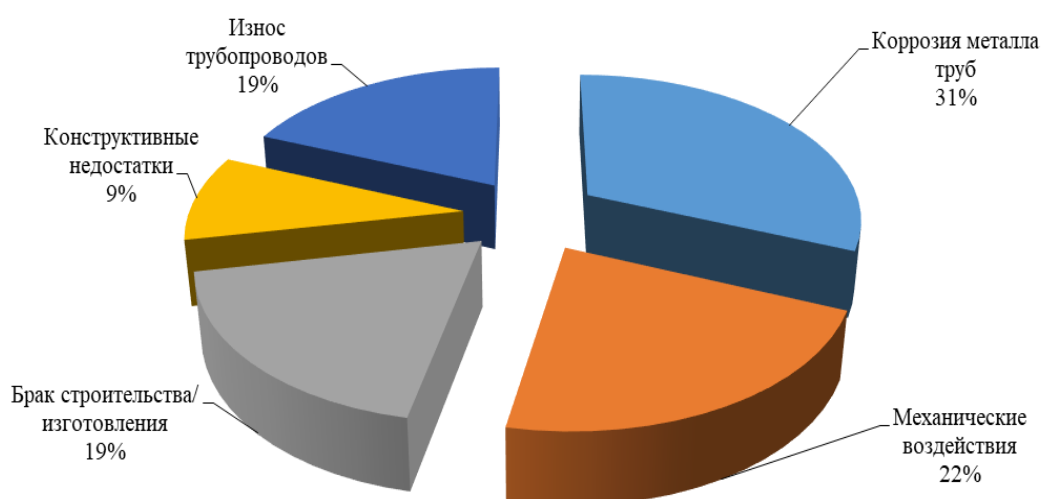


Рис. 6. Аварии магистральных газопроводов по причинам их возникновения в процентном соотношении

При анализе данных, представленных на рис. 5, можно выделить четыре ключевые причины – коррозия металла труб (31 %), механические воздействия (22 %), износ трубопроводов (19 %) и брак строительства/изготовления (19 %).

Коррозия металлов – самопроизвольное постепенное поверхностное разрушение металла в результате его контакта с окружающей средой, а именно с грунтом и транспортируемым продуктом. На подземный газопровод оказывают отрицательное воздействие и вызывают внешние коррозионные процессы кислоты, щелочи и соли, растворенные в грунте, а также блуждающие электрические токи. К внутренней коррозии приводят примеси, такие как кислород, углекислый газ и прочие кислые соединения, растворенные в транспортируемом продукте [6, 7]. Для предотвращения развития коррозионных процессов необходимо проводить регулярное внутритрубное диагностирование, контролировать состояние изоляционного покрытия, следить за коррозионной активностью грунта, а также проводить анализ эффективности электрохимической защиты [3, 8].

Аварийные ситуации, причинами которых являются механические воздействия машин и механизмов при проведении строительно-монтажных работ, довольно распространены и занимают 22 % от общего числа аварий. Неосторожная деятельность машин при проведении земляных работ может привести к нарушению целостности трубопровода или вызвать дефекты формы геометрии, например, такие как вмятины, гофры или овальность сечения. Все ранее перечисленные дефекты возникают из-за недостаточного уровня контроля по обеспечению качества ремонтно-восстановительных работ и несанкционированного производства земляных работ в охранной зоне газопровода [3, 9]. Для того, чтобы предотвратить аварийные ситуации, возникающие в результате деятельности строительной техники, необходимо соблюдать график обхода трасс трубопроводов с целью проверок наличия и сохранности опознавательных знаков газопроводов, а также для обеспечения контроля и корректировки ведения земляных работ в охранной зоне трасс.

Износ трубопроводов относится к ключевым причинам, приводящим к выходу газопровода из строя, и составляет 19 % от общего числа аварий за рассматриваемый период. Каждый объект имеет срок службы, установленный определенными нормами, который зависит от многих факторов, но, в первую очередь, от должного контроля и диагностики трубопровода [6, 10]. Таким образом, при эксплуатации магистрального газопровода должно регулярно осуществляться внутритрубное диагностирование, контролироваться состояние изоляционного слоя, проводиться расчет на прочность трубопровода и рассчитываться его остаточный ресурс [3, 11].

Аварии на магистральных газопроводах, возникающие вследствие нарушения технологий изготовления и монтажа трубопроводов, занимают 19 % от общего числа случаев за рассматриваемый период. В процессе изготовления могут образоваться: поверхностные дефекты (трещина, волосовина или надрыв) и внутренние дефекты (горячая, холодная или межкристаллическая трещина, газовая раковина, металлические или неметаллические включения) основного металла; поверхностные дефекты (поры, свищи в сварном шве, поверхностное окисление сварного шва или подрез зоны сплавления) и внутренние дефекты (непровар, несплавление или шлаковые включения) заводских сварных швов; дефекты геометрии заводских сварных швов (вогнутость корня шва, наплыв на сварном соединении или смещение сваренных кромок) [12–14].

При транспортировке и монтаже трубопроводов могут появиться: поверхностные дефекты основного металла (царапины, риски, подрезы или задиры) и дефекты геометрии труб (вмятина, гофр, кривизна или овальность) [7, 15].

Для предотвращения аварий, возникающих по причине нарушения технологий изготовления и монтажа газопроводов, необходимо проводить техническую диагностику,

осуществлять регулярный контроль технического состояния трубопроводов на всех стадиях производства и монтажа.

**Выводы.** Проанализировав аварии на магистральных газопроводах в период с 2017 по 2021 год, определили основные причины их возникновения: коррозия металла труб – 31 %, механические воздействия – 22 %, износ трубопроводов – 19 % и брак строительства/изготовления – 19 %. При изучении причин, вызывающих повреждения трубопроводов, выделили способы и методы предупреждения развития аварий. К ним обобщенно можно отнести регулярную внутритрубную диагностику, обход трасс газопроводов и строгий контроль за процессами производства и монтажа трубопроводов, проведением работ в охранной зоне трубопроводов.

#### Библиографический список

1. Чухарева Н.В. Промышленная безопасность объектов магистральных трубопроводов: учебное пособие / Н.В. Чухарева, В.А. Чухарев, А.В. Рудаченко. Ханты-Мансийск: Томский политехнический университет, 2015. 186 с.
2. Об утверждении федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Правила безопасности для опасных производственных объектов магистральных трубопроводов», утвержденный приказом Ростехнадзора от 11 декабря 2020 г. № 517: приказ Ростехнадзора от 23.12.2020 № 61745. 53 с.
3. Уроки, извлечённые из аварий. 2017, 2018, 2019, 2020, 2021: офиц. сайт Ростехнадзора [Электронный ресурс]. URL: <https://www.gosnadzor.ru/industrial/oil/lessons/> (дата обращения: 26.05.2022).
4. Отчет о деятельности Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору [Электронный ресурс]. URL: [https://www.gosnadzor.ru/public/annual\\_reports/](https://www.gosnadzor.ru/public/annual_reports/) (дата обращения: 26.05.2022).
5. Кузьмишкин А.А., Гарькин И.Н. Коррозия газопроводов и варианты защиты от нее // Вестник магистратуры. 2014. № 11-1(38). С. 38–41.
6. Об утверждении федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Правила безопасности для объектов, использующих сжиженные углеводородные газы», утвержденный Федеральной службой по экологическому, технологическому и атомному надзору от 15 декабря 2020 г. № 532: приказ Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 30.12.2020 № 61963. 35 с.
7. Инструкция по оценке дефектов труб и соединительных деталей при ремонте и диагностировании магистральных газопроводов: утв. Департаментом по транспортировке, подземному хранению и использованию газа ОАО «Газпром» от 18.11.2008. М.: ОАО «ГАЗПРОМ», 2008. 114 с.
8. Оценка надежности газоснабжения отдельных потребителей с использованием цифрового моделирования / Г.Н. Мартыненко, Н.А. Петрикеева, С.А. Горских, А.А. Горских // В сборнике: Альтернативная и интеллектуальная энергетика. Материалы II Международной научно-практической конференции. 2020. С. 159–160.
9. 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.
10. Хорошилова Е.Л., Петрикеева Н.А., Попова Н.М. Повышение противокоррозионных свойств защиты газонефтепроводов // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. 2018. №2(11). С. 42–49.
11. Тульская С.Г., Калинина А.И., Петрикеева Н.А. Основные аспекты экологических проблем нефтегазовой отрасли // В книге: Нефтяная столица. Материалы 4-й Международного молодежного научно-практического форума. Ханты-Мансийск, 2021. С. 199–202.
12. Долбилова М.А., Губин А.А. Анализ современных систем обнаружения утечек на магистральных нефтепроводах // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. 2018. № 3 (12). С. 40-45.
13. Влияние воздушных линий переменного тока на стальные трубопроводы / А.А. Пискунков, Е.А. Копытина, П.А. Чудинова, Н.А. Петрикеева // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. 2019. №3(16). С. 42–46.
14. Кузнецов С.Н., Кузнецова Г.А. Цифровые модели управления надежностью газового оборудования // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. 2020. №1(38). С. 90–94.
15. Кузнецова Г.А., Личковаха И.В., Мамонтов Е.В. Мониторинг надежности распределительных инженерных сетей // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. 2012. №2(7). С. 14–20.

*Для цитирования:* Волох А.С., Гасанов З.С., Тульская С.Г. Причины возникновения аварий при эксплуатации магистральных газопроводов // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. 2022. № 4 (29). С. 23–28.

---

## СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

---

УДК 539.2

### ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ИЗОТЕРМИЧЕСКОГО ПРЕССОВАНИЯ СЛОИСТОГО ПЛАСТИКА

Б. М. Кумицкий, Н. А. Саврасова, Е. С. Аралов

---

*Воронежский государственный технический университет*

*Б. М. Кумицкий, канд. физ.-мат. наук, доц. кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела  
Россия, г. Воронеж, тел.: +7(473)271-53-21, e-mail: boris-kum@mail.ru*

*Е. С. Аралов, ст. преподаватель кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела*

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

*Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия им. проф. Н. Е.  
Жуковского и Ю. А. Гагарина»*

*Н. А. Саврасова, канд. физ.-мат. наук, доц. кафедры физики и химии*

*Россия, г. Воронеж, тел.: +7(951)872-94-25, e-mail: savrasova-nataly@mail.ru*

---

**Постановка задачи.** Решается задача однонаправленного напряженно-деформированного состояния нелинейно-вязкой среды в условиях изотермического прессования слоистого пластика. Решение указанной проблемы проводится в рамках предложенной дифференциальной модели течения аномальной жидкости, полностью заполняющей пространство между двумя движущимися навстречу друг другу параллельными, абсолютно жесткими плитами. Деформируемый материал сжимается с постоянным усилием, а его реологические свойства удовлетворяют закону течения Оствальда-де Вейля.

**Результаты.** Из условий симметрии поставленной задачи и идеального прилипания модельной жидкости к поверхностям деформирующих плит найдены распределения скорости течения по толщине деформируемого слоя и давления по поверхности сжимаемой среды. Кроме того, получено аналитическое выражение усилия прессования.

**Выводы.** Показано, что усилие прессования функционально связано с размерами сечения, скоростью сжатия и показателями вязкости среды, а полученная временная зависимость толщины сжимаемого слоя позволяет управлять процессом прессования.

**Ключевые слова:** слоистый пластик, однонаправленное прессование, аномальная жидкость, препреги, моделирование, дифференциал.

**Введение.** Совершенствование современных строительных технологий, полимерной индустрии, а также отраслей электронных и авиационной промышленности невозможно без использования новых конструкционных материалов, среди которых особое место занимают слоистые пластики [1–3]. Слоистые пластики – прессованные материалы, армированные параллельно расположенным листовым наполнителем [3], в качестве которого может быть: бумага (гетинакс), ткани (текстолит), асбест (асбопластики), стеклянные ткани (стеклотекстолит) и др. Благодаря высоким физико-механическим показателям, слоистые пластики используют в самых различных отраслях машиностроения, электротехнологий, химической промышленности и мебельной индустрии [4–6].

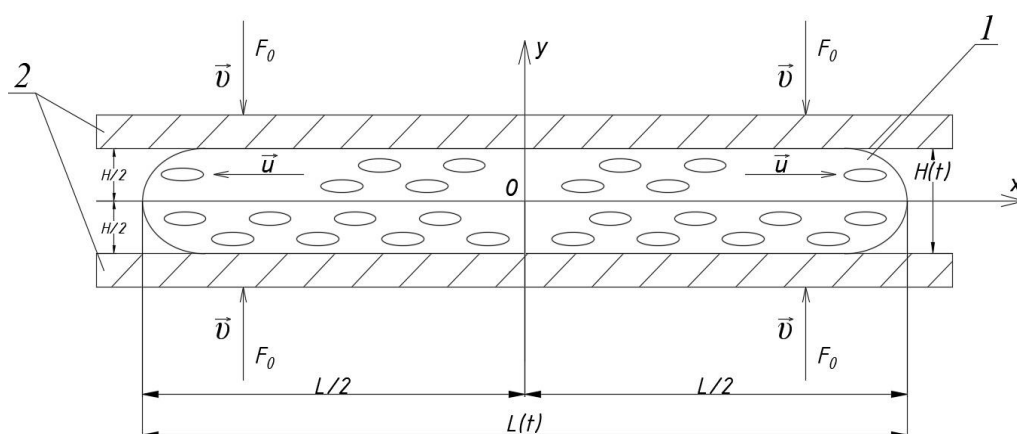
---

**1. Анализ моделей дисперсных систем.** Актуальной задачей создания качественных конструкционных пластиковых материалов с высокими прочностными и термическими свойствами является исследование напряженно-деформированного течения. Решение практически любой проблемы, предназначенной для исследования, начинается с разработки физико-математической модели, которая позволила бы выбрать оптимальную стратегию соблюдения технологического режима и провести его многофункциональный анализ [7, 8]. Ряд разработанных к настоящему моменту моделей описывает реологические процессы, протекающие при прессовании композитов [9–13]. Процессы течения вязкой несжимаемой жидкости, находящейся в тонком слое, заполняющем пространство между движущимися друг к другу параллельными плоскостями, описаны в работах [14, 15]. Полученные в них результаты позволяют контролировать процесс деформирования. Фундаментальные законы сохранения массы и энергии положены в основу исследования прессования древесины в рамках механики деформируемого анизотропного твердого тела [16].

Однако, несмотря на значительное количество работ и разнообразие подходов к процессу прессования структурированных дисперсных систем, к которым относятся слоистые пластики, пока нет удовлетворительной теории, связывающей реологические свойства исследуемой среды с параметрами их структуры. Нет удовлетворительной методики определения реологических констант аномальных жидкостей [15], используемых, зачастую, в качестве модельной среды при описании напряженно-деформирующего состояния гетинакса, текстолита, стеклотекстолита и других слоистых композитов.

Целью предлагаемого исследования является дифференциальное моделирование процесса деформации в условиях плоского изотермического сжатия заготовок слоистого пластика, а также, в рамках этой модели, показать возможность экспериментального определения параметров модельной среды.

**2. Моделирование процесса изотермического прессования.** Рассмотрим задачу о нестационарном течении однонаправленного препрега в виде полосы 1 длиной  $Z_0$  и площадью прямоугольного поперечного сечения  $S_0 = L \cdot H$ , сжимаемой с постоянной силой  $F_0$  сближающимися параллельными абсолютно жесткими плитами 2 (рис. 1). При этом  $L$  и  $H$  – соответственно ширина и длина прессуемого материала.



**Рис. 1.** Принципиальная схема плоского прессования прямоугольной полосы слоистого пластика в условиях сближающихся абсолютно жестких плит: 1 – исследуемый пластик; 2 – жесткие параллельные плиты

Предлагаемая схема деформирования, по-существу, реализуется в каждом этапе натурального гидравлического пресса. Для описания вязкого сдавливания композитной

заготовки в качестве модельной среды используем аномальную жидкость, соответствующую по вязким свойствам реальному веществу, а ее закон течения соответствует уравнению Оствальда-де Вейля [14].

Взаимосвязь между сдвиговым напряжением  $\tau_{xy}$  и скоростью деформации  $u$  при этом определяется степенной функцией в дифференциальном виде

$$\tau_{xy} = \mu \left( \frac{du}{dy} \right)^n, \quad (1)$$

где  $\mu$  – коэффициент консистенции и  $n$  – показатель вязкости – параметры, зависящие от структуры вещества;  $x, y$  – рассматриваемые оси координат.

Также предполагается, что течение происходит только в плоскости  $xy$ , а в направлении армирования (ось  $z$ ) деформация отсутствует и длина полосы  $Z_0$  не меняется. Кроме того, структура изотропного в трансверсальной плоскости материала остается постоянной.

Исследуемая среда, занимающая в каждый момент времени пространство между сближающимися со скоростью  $v = -\frac{dH(t)}{dt}$  параллельными плитами, представляет собой полосу объемом  $W = S_0 \cdot Z_0$ , постоянство которого для нее является условием несжимаемости:

$$W = S_0 \cdot Z_0 = L(t) \cdot H(t) \cdot Z_0 = const, \quad (2)$$

где  $t$  – время процесса, с.

Условие несжимаемости (2), зависимость между скоростью сближения деформирующих плит  $v(t) = -\frac{dH}{dt}$  и скоростью растекания деформируемой среды  $u(t)$  связаны уравнением неразрывности:

$$L(t)v(t) = \int_0^H u(y) dy. \quad (3)$$

Учитывая, что касательные напряжения (1) связаны с давлением прессования уравнением равновесия

$$\tau_{xy} = -y \frac{dP}{dx}, \quad (4)$$

получим дифференциальное уравнение с разделяющимися переменными в предположении, что градиент давления  $\frac{dP}{dx}$  не меняется по толщине сжимаемого слоя

$$du = \left( \frac{1}{\mu} \cdot \frac{dP}{dx} \right)^s y^s dy, \quad (5)$$

где  $s = 1/n$  – показатель степени.

Интегрирование обеих частей (5), с учетом идеального прилипания деформируемого вещества к поверхностям плит  $[u(\pm H/2) = 0]$ , приводит к следующему распределению скорости течения по толщине слоя

$$u = \left(\frac{H}{2}\right)^{s+1} \cdot \frac{1}{s+1} \left(-\frac{1}{\mu} \frac{dP}{dx}\right)^s \left[1 - \frac{2y}{H}\right]^{s+1}. \quad (6)$$

В целях исследования распределения давления в плоскости пресовании слоя, необходимо подставить значение  $u$  из (6) в уравнение неразрывности (3) с последующим интегрированием при условии симметрии  $P(x=\pm L/2)=0$ . Тогда получим

$$P(x) = \frac{\mu \nu^n (s+2)^n L^{n+1}}{(n+1) \cdot H^{2n+1}} \left[1 - \left(\frac{2x}{L}\right)^{n+1}\right]. \quad (7)$$

Усилие пресования слоистого пластика можно найти интегрированием давления (7) по поверхности плит. Зная, что  $P(x) = \frac{dF}{d\omega} = \frac{dF}{Z_0 dx}$ , получим

$$F = \int \frac{\mu Z_0 \nu^n (s+2)^n L^{n+1}}{(n+1) H^{2n+1}} \left[1 - \left(\frac{2x}{L}\right)^{n+1}\right] dx, \text{ или окончательно:}$$

$$F_0 = \frac{\mu Z_0 [\nu (s+2)]^n S_0^{n+2}}{(n+2) H^{3(n+1)}}. \quad (8)$$

Следует заметить, что полученные соотношения могут быть использованы для экспериментального определения реологических параметров, входящих в уравнение течения Оствальда-де Вейля.

Так, из выражения (8) можно определить коэффициент консистенции  $\mu$ :

$$\mu = \frac{F_0 (n+2) H^{3(n+1)}}{[\nu (s+2)]^n Z_0 S_0^{n+2}}. \quad (9)$$

Для определения параметра  $n$  необходимо уравнение (8) решить относительно  $\nu^n$  с последующим логарифмированием. Дифференцируя полученное выражение по  $\lg H$ , находим  $n$ :

$$n = \frac{3}{d[\lg \nu] / d[\ln H]} - 3. \quad (10)$$

Равенство (10) означает тот факт, что в процессе пресования зависимость между скоростью сближения плит и толщиной деформируемого слоя в двойных логарифмических координатах ( $\lg \nu - \lg H$ ) должна быть линейной с наклоном прямой линии, зависящим только от показателя вязкости  $n$ .

Определив на некотором участке деформирования приращения  $\Delta(\lg H)$  и  $\Delta(\lg \nu)$  и заменив ими дифференциалы в (10), получим рабочую формулу для экспериментального определения показателя вязкости  $n$ :

$$n = \frac{3}{\Delta(\lg \nu) / \Delta(\lg H)} - 3. \quad (11)$$

Используя выражение для скорости сближения плит  $\nu(t)$  и комбинируя выражение (3) и (6), получим условие для определения толщины деформируемого слоя  $H$  от времени пресования  $t$ :



$$H(t) = H_0(1 + t/t')^{-\frac{n}{2n+3}}, \quad (12)$$

где  $t' = \frac{2n+1}{2n+3} \left[ \frac{\mu Z_0 L^{n+2}}{(n+2)FH_0^{n+1}} \right]^n$ ;  $H_0$  – начальная толщина деформируемой полосы, м.

**Выводы.** Предложена реологическая модель изотермического прессования полос слоистого пластика в условиях сдвигания постоянной силой сближающимися параллельными плитами. Получены аналитические зависимости распределения давления и скорости течения модельной нелинейно-вязкой среды по поверхности сжимающих плоскостей. Показана возможность экспериментального определения реологических параметров, входящих в закон течения модельной среды. Полученная в работе зависимость толщины заготовка от времени деформирования позволяет, в той или иной форме, управлять технологическим процессом прессования.

#### Библиографический список

1. Аракелян А.Г. Получение и применение текстолита // Тенденции развития науки и образования. 2018. № 38–4. С. 32–33.
2. Гарнова А.В., Машкова С.С., Костромина Н.В. Технологические особенности производства текстолита на основе фенолформальдегидных смол // Успехи в химии и химической технологии. 2019. № 6 (216). С. 18–20.
3. Создание клееной древесины повышенной прочности на основе клеев, подвергнутых совместному воздействию ультразвука и электрического поля / В.М. Попов, О.Р. Дорняк, Н.А. Петрикеева, Н.М. Попова // Научный журнал строительства и архитектуры. 2019. № 3 (55). С. 28–35.
4. Лысенко В.А., Сальникова П.Ю., Лысенко А.А. Анизотропия электропроводности углеродных волоконистых материалов // Химические волокна. 2009. № 6. С. 21–23.
5. Денисов А.В., Попова С.С. Электропроводящие композиции на основе наполненных полимерных пленок // Перспективные композиционные материалы. Альтернативные технологии. Переработка. Применение. Экология: тез. докл. Международной конференции «Композит 2010». Саратов: СГТУ, 2010. С. 26–30.
6. Саврасова Н.А., Агапов А.Д., Кумицкий Б.М. Математическое моделирование процесса плоского прессования слоистых пластиков // Современные проблемы теории машин. 2018. № 6. С. 50–55.
7. Кумицкий Б.М., Саврасова Н.А. Реологическое моделирование свойств материала в условиях плоского прессования композитов // Вестник Дагестанского государственного университета. Серия 1: Естественные науки. 2020. № 2. С. 57–66.
8. Дмитриев О.С., Мищенко С.В., Дмитриев А.О. Метод исследования параметров течения связующего при отверждении композитов // Вестник Тамбовского государственного технического университета. 2005. № 1. С. 53–61.
9. Водяков В.Н., Кузьмин А.М., Кузнецов В.В. Математическая модель нестационарного процесса компрессионного формования пластин из гранулята термопластичных композитов // Вестник Мордовского университета. 2017. № 4. С. 530–545.
10. Бурого Н.Г., Никитин И.С. Математическая модель и алгоритм расчета прессования и спекания // Математическое моделирование. 2019. № 2. С. 3–17.
11. Руденко Б.Д., Плотников С.М., Изотов В.Т. Моделирование процесса плоского прессования плит из коры и термопластов // Актуальные проблемы лесного комплекса. 2012. № 32. С. 120–122.
12. Кумицкий Б.М., Саврасова Н.А., Кантиева Е.В. Математическое моделирование процесса склеивания древесного шпона в условиях плоского прессования фанеры // Лесотехнический журнал. 2018. № 2. С. 204–212.
13. Реологическое моделирование напряженно-деформированного состояния при плоском прессовании композиционных материалов / Б.М. Кумицкий, Н.А. Саврасова, А.В. Николайчик, Е.С. Аралов // Научный журнал строительства и архитектуры. 2020. № 4(60). С. 78–86.
14. Дорняк О.Р., Свиридов Л.Т. Математическое моделирование процесса прессования древесины в различных направлениях механической анизотропии // Известия высших учебных заведений. СевероКавказский регион. Технические науки. 2005. № S11. С. 85–92.
15. К методике определения коэффициента вязкости аномальных жидкостей / Б.М. Кумицкий, С.Г. Тульская, Е.С. Аралов, Е.В. Плаксина // Химия, физика и механика материалов. 2021. № 4(31). С. 94–105.

Для цитирования: Кумицкий Б.М., Саврасова Н.А., Аралов Е.С. Дифференциальное моделирование процесса изотермического прессования слоистого пластика // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. 2022. № 4(29). С. 29–33.

---

## СТРОИТЕЛЬСТВО И ЭКСПЛУАТАЦИЯ НЕФТЕГАЗОПРОВОДОВ, БАЗ И ХРАНИЛИЩ

---

УДК 699.86

### КОРРОЗИЯ РЕЗЕРВУАРОВ ДЛЯ ХРАНЕНИЯ НЕФТИ И НЕФТЕПРОДУКТОВ И МЕТОДЫ ИХ ЗАЩИТЫ

М. А. Долбилова, А. И. Калинина, Н. М. Попова, Е. В. Плаксина

*Воронежский государственный технический университет**М. А. Долбилова, ст. преподаватель кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела  
Россия, г. Воронеж, тел.: +7(920)218-90-25, e-mail: kirnova.ma@gmail.com**А. И. Калинина, ст. преподаватель кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела  
Россия, г. Воронеж, тел.: +7(952)102-72-90, e-mail: alina27.03@mail.ru**Н. М. Попова, ст. преподаватель кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела  
Россия, г. Воронеж, тел.: +7(908)137-23-33, e-mail: exclusiv.na@mail.ru**Е. В. Плаксина, ст. преподаватель кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела  
Россия, г. Воронеж, тел.: +7(950)760-26-31, e-mail: elena.plaksina2013@yandex.ru*

**Постановка задачи.** Коррозия является одной из основных причин разрушения стальных конструкций надземных резервуаров для хранения нефти и нефтепродуктов. Обеспечение надежной эксплуатации резервуарных парков является важной инженерной задачей. Проведя анализ причин и факторов появления очагов коррозии, можно выявить оптимальные методы защиты для различных частей резервуаров.

**Результаты.** Рассмотрены виды и причины возникновения коррозии вертикальных стальных резервуаров для хранения нефти и нефтепродуктов. Выявлены типы коррозионных разрушений, оказывающих наибольшее влияние на выбор антикоррозионной защиты. Дана оценка влияния состава подтоварной воды на механизм коррозионного разрушения днища. Проанализированы способы защиты от коррозии.

**Выводы.** Выявлено, что необходимо сосредоточить внимание на локальной коррозии за счет донной воды резервуара при длительном хранении серосодержащей нефти.

**Ключевые слова:** коррозия, стальные резервуары, нефть, нефтепродукты, подтоварная вода, хранение.

**Введение.** Вертикальные надземные стальные резервуары (РВС) являются важнейшими элементами резервуарных парков, которые сооружают на объектах добычи, хранения, транспортировки и нефтепереработки нефти. Так как продукты, хранимые в таких резервуарах, легковоспламеняющиеся или горючие, то протечки могут привести к крупным пожарам и взрывам, а также к серьезным человеческим жертвам, экономическим потерям и загрязнению окружающей среды. Поэтому сохранение целостности конструкций резервуара является важной задачей при эксплуатации нефтебаз.

На протяжении всего срока службы РВС подвергаются различным нагрузкам, приводящим к повреждению его основных элементов. Согласно данным [1], коррозия составляет до 30 % эксплуатационных дефектов РВС, а за весь период эксплуатации в 20–30 лет РВС может потерять до 10 % от общей массы из-за коррозионного разрушения [2].

Основными проблемами, вызванными коррозией, являются:

- уменьшение толщины металла и дальнейший рост напряженного состояния, потеря жесткости;
- появление язв, которые в дальнейшем вызывают утечку продукта;
- потеря достаточного стабилизирующего веса, что может привести к потере устойчивости.

**1. Коррозия конструкций резервуаров.** Коррозия – это процесс постепенного самопроизвольного разрушения металлов с течением времени в результате различных факторов внешней среды: вредные примеси, влага, кислород. РВС подвержены коррозии как с внешней стороны, так и с внутренней, при этом внутренняя поверхность резервуаров страдает от коррозии значительно сильнее, чем внешняя.

В зависимости от характера коррозионных повреждений и степени воздействия хранимого продукта на конструктивные элементы резервуара, его внутреннее пространство можно разделить на три зоны: верхнюю, контактирующую с газовойдушной смесью; среднюю, где стенки резервуара контактируют с нефтью и эмульсией воды в нефти и нижнюю, соприкасающуюся с подтоварной водой.

Для основных конструктивных элементов стальных резервуаров главными причинами появления коррозии являются следующие:

1. Во влажной атмосфере на внешней поверхности резервуара образуется влага, которая служит электролитом. Это приводит к появлению атмосферной коррозии на внешней поверхности резервуара.

2. Под действием паровоздушной среды происходит коррозия внутренней поверхности элементов кровли и верхних поясов резервуара. Основную роль здесь играют влажный воздух, попадающий в резервуар во время «дыханий», и сернистые соединения в газовой фазе: влага, оседающая на металлических конструкциях, входит в химическую реакцию с кислородом и сероводородом и провоцирует возникновение электрохимической коррозии.

3. При соприкосновении с хранящимся сернистым нефтепродуктом интенсифицируется коррозия внутренних поверхностей стенок и днища.

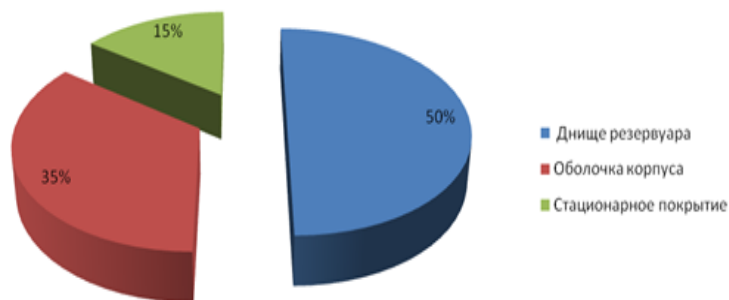
4. Днище и нижний пояс резервуара, соприкасающиеся с пластовой или подтоварной водой при хранении нефти или нефтепродукта, особенно подвержены коррозии. Минерализованные воды из-за агрессивных растворов газов солей и кислот, контактирующих с металлом конструкции, создают электролитические процессы, что значительно усиливает коррозию.

5. В застоявшейся воде образуются сероводородные бактерии, которые путем образования активных продуктов в процессе жизнедеятельности вызывают коррозию металла. Сероводород, ранее не содержащийся в воде, образуется в результате микробиологических процессов.

6. Кроме того, микробиологическая коррозия металла на внешней поверхности происходит под воздействием микроорганизмов, обитающих в грунте. Особую опасность для металлических конструкций представляют сульфатовосстанавливающие бактерии, относящиеся к классу анаэробных – им не нужен кислород для жизнедеятельности.

С точки зрения конструктивной целостности резервуара наиболее опасна коррозия стенки и уторного шва, а утечка продукта в основном связана с коррозией полотен днища. Анализ данных обследований [1] показал, что наиболее всего образованию дефектов подвержено днище резервуара (рис.1).

Коррозия металлоконструкций резервуаров проявляется различными видами, но преобладающими являются равномерная, язвенная и точечная коррозии. Самые опасные виды коррозии из вышперечисленных – точечная и язвенная – чаще всего приводящие к аварии, так как они приводят к сквозному корродированию стенок конструкции.



**Рис. 1.** Статистика отказов элементов конструкции резервуара [2]

Питтинговая коррозия встречается, как правило, на горизонтальных поверхностях (рис. 2а), на днище резервуаров и в местах скопления воды (рис. 2б), но может возникать и на вертикальных участках, где имеется повреждение целостности антикоррозионного (лакокрасочного) покрытия (рис. 2в).



а)



б)



в)

**Рис. 2.** Коррозия элементов резервуаров: а – точечная ямка на кровельных листах; б – точечная коррозия днища; в – точечная коррозия на корпусе [2]

Значительное влияние на характер коррозионного процесса оказывает состав донной воды. Авторы работы [3] рассмотрели и изучили коррозионное поведение стали марки Q235 (аналог стали СтЗкп) в двух типах подтоварной воды. Солёность придонной воды резервуара с первым образцом нефти значительно выше, чем солёность второго, но содержание сероводорода в нефти второго образца была выше.

Склонность к коррозии донной воды первого образца выше, чем у второго из-за величины электродного потенциала, однако, пленка сульфида железа второго образца, образованная в результате коррозии, являлась неполной и легко разрывалась и отпадала, что может привести к локальной коррозии при воздействии более агрессивных подтоварных вод высокосернистой нефти.

Рисунок 3 показывает, что подтоварная вода обоих образцов имеет определенную степень однородной коррозии и склонность к локальной коррозии резервуара для хранения. При этом при длительном хранении коррозия днища резервуара с образцом 1 представляла собой равномерную коррозию, а с образцом 2 имела явную точечную коррозию. Скорость коррозии днища с сырой нефтью 1 составляет 0,0053 мм/год, а образца 2 – 0,0102 мм/год.

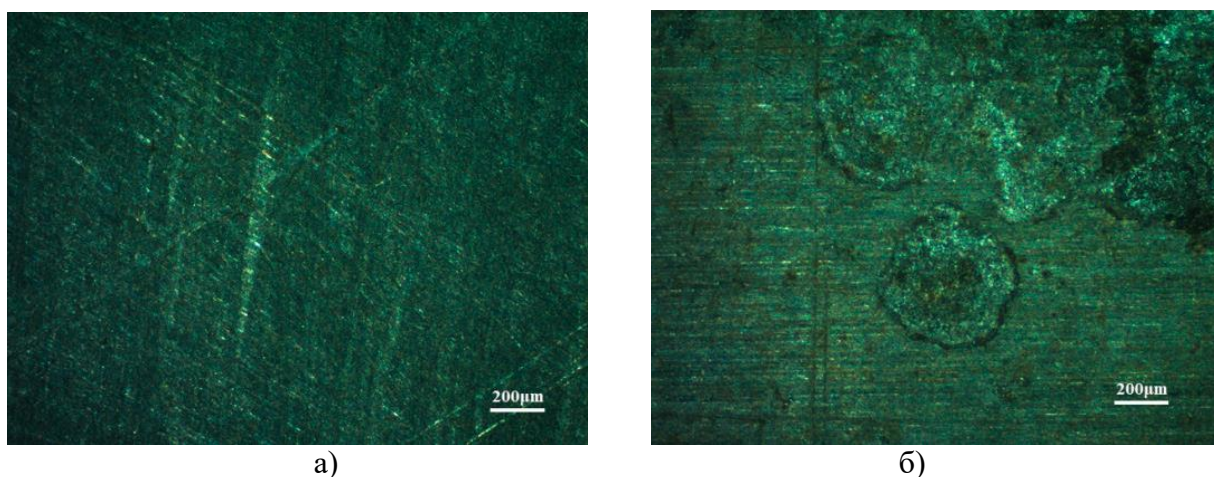


Рис. 3. Микрофотография изделия, погруженного в придонную воду на месяц:  
а – сырая нефть образца 1; б – сырая нефть образца 2 [3]

**2. Методы борьбы с коррозией.** Существует две группы методов противокоррозионной защиты: пассивные (механически и электрически изолируют агрессивную среду от внутренней поверхности) и активные (устраняют или ослабляют течение коррозионного процесса и его воздействие на конструкцию).

Для защиты резервуаров от коррозии применяют следующие способы:

- протекторная защита резервуаров;
- нанесение красок и лакокрасочных покрытий;
- использование ингибиторов;
- нейтрализация кислоты своевременным разбавлением щелочами подтоварной воды.

Антикоррозийная защита подбирается в зависимости от степени агрессивного влияния среды с учетом требований нормативной документации.

Одним из основных способов повышения срока службы РВС является использование высокоэффективных лакокрасочных покрытий. Их основные плюсы – низкая себестоимость материалов по сравнению с другими типами покрытий и дешевое обслуживание. Однако имеются и минусы: легко подвержены внешним повреждениям, долго сохнут, подвержены воздействию растворителей, токсичны, при повреждении коррозия происходит под пленкой, что затрудняет визуализацию.

Металлизационные покрытия алюминием, цинком или их сплавами защищают стали от воздействия атмосферы. К их достоинствам можно отнести:

- сравнительно высокая прочность, стойкость к механическим воздействиям и адгезия;
- срок службы примерно в десять раз превышает срок службы лакокрасочных покрытий;
- исключают в процессе слива и налива продукта образование статического заряда за счет придаваемой высокой электропроводимости. Так же покрытие при повреждении выполняет функцию протекторной защиты;
- при возникновении мелких дефектов (шириной или диаметром меньше двух миллиметров) анодные металлизированные покрытия способны самовосстанавливаться.

Рассмотрим комбинированные покрытия типа металлизация плюс лакокрасочное покрытие. Нанесенный металлический слой начинает выполнять функции изолирующего покрытия сразу после повреждения верхнего слоя. При повреждении металлизационный слой препятствует коррозии металла, поэтому комбинированные покрытия оптимальны, вбирая в себя качества защитных покрытий и катодной защиты [4].

Также одним из популярных видов активной защиты является протекторная защита. Вода вместе с растворенными в ней солями кальция, натрия, магния и железа при отстаивании нефти скапливается и провоцирует электрохимическую коррозию днища и нижнего пояса резервуара. Протекторы предназначены для защиты от воздействия почвенных электролитов и подтоварной воды. Они заметно понижают процесс коррозионного разрушения металла.

Протекторная защита осуществляется следующим образом: электроды, нефтехранилище и протектор из более электроотрицательного материала, чем сам резервуар, соединяются проводником и опускаются в почвенный электролит. Под действием разности потенциалов и из-за большей электроотрицательности материала протектора, электроны переходят по проводнику от протектора к нефтехранилищу. Вместе с тем протектор разрушается по причине перехода в раствор его ион-атомов. Контрольно-измерительной колонкой контролируется сила тока [5].

Протекторы обычно изготавливают из сплавов цинка, алюминия или магния. Подбор сплава для протектора и расчет самой защиты выполняется согласно ВСН 158-83 «Инструкция по протекторной защите внутренней поверхности нефтяных резервуаров от коррозии».

Днище резервуара больше всех составляющих резервуара подлежит коррозии. Антикоррозийная защита наружной поверхности днищ включает в себя следующие мероприятия:

- отвод атмосферных осадков и грунтовых вод от днища при устройстве фундаментов и основания под резервуар;
- недопустимость наличия коррозионноактивных агентов в используемых битуме и песке.

Уменьшить влияние почвенной коррозии на уторный шов, возможно с помощью применения фундаментов, продлевающих срок эксплуатации резервуаров РВС, например, решетчатых оснований с устройством каплезащитного кольца на уторе. Использование данного типа фундамента позволяет получить под днищем резервуара вентилируемое пространство, защитить днище от коррозии, грунтовых вод, влаги атмосферных осадков и конденсата. Кроме того, данное мероприятие позволяет уменьшить теплопотери днища резервуара [6, 7].

В 2020 году крупнейшее международное сертификационное и классификационное общество DNV GL пересмотрела свои соответствующие правила проектирования грузовых

танкеров для нефти, дополнительно включив в них коррозионнотстойкие стали для «защиты от коррозии альтернативными средствами» к существующим методам. Исследования, проведенные японскими проявителями коррозионнотстойкой стали [3] в течение десяти лет на танкере для сырой нефти, подтвердили, что она значительно снижает как точечную коррозию, так и общую поверхностную коррозию.

В работе [4] был сделан вывод о высокой эффективности тонкослойного полимерного покрытия. Перспективным направлением совершенствования антикоррозионных покрытий и противокоррозионной защиты является использование лакокрасочных покрытий и ингибирование паровоздушного пространства.

Наиболее эффективным способом борьбы с биологической коррозией является промывка (минимум 1 раз в год) водой со скоростью 4–6 м/с.

**Выводы.** Коррозия вертикальных надземных стальных резервуаров является основной причиной отказов дорогостоящего оборудования и снижения эксплуатационных функций резервуарных парков.

Значительным коррозионным разрушениям подвергается в первую очередь днище резервуара, что может привести к утечке нефтепродуктов в окружающую среду, потерям продукта, а также к огромным затратам на очистку.

Эксперимент по коррозии днища резервуара в присутствии донной воды сырой нефти показал, что подтоварная вода имеет определенную равномерную коррозию и локальную коррозию. Высокая соленость подтоварной воды дала более очевидную локальную, а высокое содержание сероводорода дало точечную коррозию.

При проектировании или определении надежного остаточного ресурса после полного технического обследования или ремонта металлоконструкций резервуаров важно учитывать соответствующее значение припуска на коррозию для всех частей конструкций в сочетании с предполагаемым типом антикоррозионной защиты.

По отдельности ни один из вышеперечисленных методов не способен гарантировать безупречную эксплуатацию нефтехранилища и его абсолютную защиту от коррозии. Только в комбинации методы защиты способны обеспечить требуемый уровень надежности.

#### Библиографический список

1. Волков В.Н., Попова Н.В., Бурмистрова О.Н. Оценка работоспособности резервуаров для хранения нефтепродуктов в условиях республики Коми // *Современные проблемы науки и образования*. 2014. № 4. С. 55–55.
2. Hajro I., Hodžić D., Tasić P. Integrity assessment of aboveground oil storage tanks due to the corrosion metal loss // *Journal of Trends in the Development of Machinery and Associated Technology*. 2014. Vol. 18. N.1. P. 91–94.
3. Fang-Wei Luo, Ran Ran, Lei Wang. Study on Corrosion Law of Large Crude Oil Storage Tank Floor and Risk-Based Inspection and Maintenance Technology // *Corrosion Science and Technology*. 2020. Vol.19. P. 66–74.
4. Аль-аяни А.М. Разработка композиционных покрытий для внутренней и наружной защиты резервуаров для сбора и хранения нефтепродуктов месторождений Республики Йемена: дис. ... канд. техн. наук. М., 2002.
5. Corrosion-resistant steels for cargo oil tanks [Электронный ресурс]. URL: <https://www.dnv.com/expert-story/maritime-impact/Corrosion-resistant-steels-for-cargo-oil-tanks> (дата обращения 05.10.2022).
6. Калинина А.И. Оценка влияния теплотехнических факторов на коррозионную стойкость материалов / А.И. Калинина, А.В. Дядина, М.А. Долбилова, С.Г. Тульская // *Инновации и инвестиции*. 2022. № 1 (26). С. 41–47.
7. Тульская С.Г., Петрикеева Н.А., Чуйкин С.В. Экологическая безопасность окружающей среды при загрязнении нефтепродуктами // В сборнике: *Наука и образование - 2019. Материалы всероссийской научно-практической конференции*. Мурманск, 2020. С. 251–257.

*Для цитирования:* Коррозия резервуаров для хранения нефти и нефтепродуктов и методы их защиты / М.А. Долбилова, А.И. Калинина, Н.М. Попова, Е.В. Плаксина // *Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации*. 2022. № 4 (29). С. 34–39.

---

## ПОЖАРНАЯ И ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ (В СТРОИТЕЛЬСТВЕ)

---

УДК 620.1

### НАДЕЖНОСТЬ РАБОТЫ ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ

И. В. Беленко, К. А. Скляров, Н. А. Петрикеева

*Воронежский государственный технический университет**И. В. Беленко, студент кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела**Россия, г. Воронеж, тел.: +7(920)555-11-36, e-mail: inna.belenko340@gmail.com**К. А. Скляров, канд. техн. наук, доц. кафедры техносферной и пожарной безопасности**Россия, г. Воронеж, тел.: +7(473)271-30-00, e-mail: u00078@vgasu.vrn.ru**Н. А. Петрикеева, канд. техн. наук, доц. кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела**Россия, г. Воронеж, тел.: +7(473)271-53-21, e-mail: petrikeeva.nat@yandex.ru*

---

**Постановка задачи.** Тепловые электрические станции отличаются рядом характеристик от других промышленных объектов, что, в свою очередь, обуславливает специфику использования соответствующего оборудования. В работе рассмотрены принципиальные особенности тепловых электрических станций, их надежность и параметры, влияющие на это свойство.

**Результаты.** Проанализированы особенности работы тепловых электрических станций и их надежность как основополагающее свойство безопасной работы станций. Охарактеризованы возможные состояния данного объекта.

**Выводы.** В результате литературного и статистического анализа установлены ключевые достоинства и недостатки тепловых электрических объектов, а также изучены возможные состояния объектов и выявлены причины, приводящие объекты в неисправное и неработоспособное состояния.

**Ключевые слова:** электрические станции, надежность, отказ, дефект, теплоэнергетика, резервирование.

**Введение.** Современное научное сообщество признает тепловые электрические станции как один из базовых элементов электроэнергетики сегодня, что обусловлено существенной долей производства электроэнергии – именно тепловые электрические станции составляют более 70 % электроэнергетики. Надежность и безопасность теплоэнергетических систем представляет собой важный элемент современных энергосистем, а анализ и управление надежностью отличается актуальностью изучения специалистами и практической значимостью для принятия тех или иных решений, связанных с планированием, проектированием и эксплуатацией энергосистем, оборудования и т.д. [1].

Тепловые электрические станции (ТЭС) отличаются рядом характеристик от других промышленных предприятий, что, в свою очередь, обуславливает специфику использования соответствующего оборудования. Ключевой отличительной характеристикой является равное соотношение объема вырабатываемой энергии и существующего спроса на эту энергию в любой период времени. Следовательно, тепловые электрические станции не предполагают производство электроэнергии для «запаса» и хранения – пропорции выпускаемой электроэнергии четко соответствуют спросу на нее.

---



Эта особенность обуславливает ряд значимых следствий:

1) из-за отсутствия потенциальной возможности иметь определенный «запас», важным элементом является возможность иметь определенный «запас» оборудования с соответствующими техническими характеристиками, позволяющими вырабатывать электроэнергию в необходимых объемах;

2) необходимо строго соблюдать соотношения выработки и потребления электроэнергии – при снижении показателей выработки необходимо снижать уровень потребления, при снижении показателей потребления, соответственно, необходимо снижать уровень выработки [2].

**1. Надежность системы.** Надежность ТЭС представляет собой особую техническую возможность на определенный период времени сохранять способность вырабатывать тепловую или электрическую энергию необходимых параметров в соответствии с разработанным графиком нагрузки при заданной системе технического обслуживания и ремонтов материально-технологического оборудования.

В данном случае важное значение имеет состояние объекта. Современные специалисты выделяют несколько основных состояний объекта:

1) исправное состояние объекта, при котором объект соответствует всем необходимым критериям работы и требованиям официально утвержденных нормативно-технических положений;

2) неисправное состояние объекта, при котором объект не соответствует установленным критериям работы (даже при наличии несоответствия по одному критерию и соответствия по всем остальным объект признается неисправным);

3) работоспособное состояние объекта, при котором в процессе использования объект позволяет выполнить поставленные задачи и «справляется» с нагрузкой заданных функций, а значения заданных параметров находятся в установленных технических пределах;

4) неработоспособное состояние объекта, при котором в процессе использования объект не справляется с нагрузкой, установленной нормативно-техническими положениями;

5) предельное состояние объекта, при котором он не способен выполнять установленные требования (например, не может сопротивляться влиянию внешней среды, имеет повреждение или деформацию, определяемые нормативно-техническими положениями как «недопустимые»).

Таким образом, переход объекта из одного технического состояния в другое в большинстве случаев обусловлен определенным событием, чаще всего – отказом или повреждением [3, 4].

Под отказом в данном случае понимается определенное событие, повлекшее за собой нарушение работоспособного состояния того или иного объекта. Современные специалисты полагают, что отказы могут быть вызваны такими обстоятельствами, как выход из строя определенных элементов в ходе использования или изменением ряда параметров до недопустимых пределов. Если говорить о энергетических установках, то в данном случае отказы преимущественно обусловлены снижением показателей имеющейся мощности или параметров тепловой и электрической энергий.

Существуют различные классификации отказов. Так, различают две классификации отказов – математическую (вероятностную) и инженерную (физическую). По причинам отказов выделяют два вида отказов – систематические, вызванные постепенным накоплением различных повреждений (коррозия, износ, утечки, старения и т.д.), и случайные, возникающие внезапно в результате ошибок сотрудников, дефектов материалов, перегрузок и т.д. По причинам возникновения отказы также подразделяются на конструкционные, эксплуатационные и технологические [5, 6].

Следует отметить, что «отказы» и «дефекты» не являются тождественными понятиями. Дефект предполагает любое несоответствие объекта установленным нормативным требованиям. Данное понятие используется при анализе любых видов продукции.

Полный отказ ведет к полной потере работоспособности объекта, частичный, соответственно, ведет к частичной потере работоспособности. При возникновении дефектов, деятельность энергетической установки останавливается – в данном случае происходит полный явный отказ и полная потеря работоспособности установки, что фиксируется в соответствующей оперативной документации.

Если говорить о надежности электрических станций, то в данном случае понятие «отказ» используются в трех случаях:

- 1) потребительское отключение;
- 2) авария;
- 3) отказ.

В настоящее время разработана специальная классификация внепланового вывода оборудования. В данном случае классификационными признаками выступают характер повреждения, степень нарушения энергоснабжения потребителей, объема и продолжительности ремонта. Следует отметить, что повреждения, возникшие в процессе плановых ремонтов, рассматриваются как аварии или отказы в зависимости от длительности и объема работ для восстановления поврежденного оборудования. Все случаи отказов документально фиксируются, после чего следует специальное служебное расследование для установления истинных причин произошедших инцидентов [7].

Причины, вызвавшие нарушение деятельности электрической станции и классифицируемые как «отказ первой степени», включают в себя, например:

- 1) перерыв в предоставлении специального технологического пара предприятиям второй категории, длительность которого составляет от двух до десяти часов;
- 2) отсутствие подачи электрической энергии потребителям в объеме от пяти тысяч до пятидесяти тысяч кВт/ч на любой период времени;
- 3) отсутствие подачи тепловой энергии потребителям в объеме от пятидесяти до четырехсот Гкал на любой период времени;
- 4) полный отказ от подачи электрической и тепловой нагрузки на тепловую электрическую станцию с установленной мощностью от двадцати пяти до ста МВт.

Причины, вызвавшие нарушение деятельности электрической станции и классифицируемые как «отказ второй степени», включают в себя следующее:

- 1) повреждение оборудования, на восстановление которого, по оценкам специалистов, требуется от трех и более суток;
- 2) недоотпуск электрической энергии потребителям в объеме от пятисот до пяти тысяч кВт/ч на любой период времени;
- 3) недоотпуск тепловой энергии потребителям в объеме от двадцати до пятидесяти Гкал на любой период времени.

**2. Ключевые показатели надежности.** Показателями надежности той или иной установки, относящейся к энергетической промышленности, являются следующие характеристики:

- 1) безотказность;
- 2) долговечность;
- 3) ремонтпригодность.

Помимо этого, существуют также показатели надежности, предполагающие комплексную оценку безотказности и ремонтпригодности [4, 8]. Если говорить о показателях надежности каждого элемента, то в данном случае используются преимущественно стационарные значения, которые будут рассмотрены ниже.

Коэффициент готовности ( $k_r$ ) – это показатель, отражающий вероятность работоспособности того или иногда объекта в произвольный временной период. При этом не предусматривается оценка готовности в запланированные временные периоды, не предполагающие использование объекта для выполнения функциональных задач [1].

$$k_r = \frac{t_{cp}}{t_{восст} + t_{cp}}, \quad (1)$$

где  $t_{восст}$  – время восстановления системы (простоев);  $t_{cp}$  – время пребывания системы в работоспособном состоянии.

Коэффициент технического использования ( $k_{ТИ}$ ) – это показатель, подразумевающий расчет соотношения времени, при котором состояние объекта можно охарактеризовать как «работоспособное», и общего, совокупного времени работоспособного состояния и «простоев». Под понятием «простой» в данном случае имеется ввиду период, когда объект не используется и проходит процедуры технического осмотра и обслуживания.

$$k_{ТИ} = \frac{t_{cp}}{t_{восст} + t_{cp} + t_{mo}}, \quad (2)$$

где  $t_{mo}$  – время, затрачиваемое на техническое обслуживание объекта (системы).

Частота отказов элементов ( $\omega$ ) – это показатель, предполагающий расчет соотношения отказавших элементов за конкретный временной период и общего количества соответствующих элементов. Следует отметить, что под «отказами» в данном случае рассматривается количество зафиксированных повреждений элементов в выбранную единицу времени.

$$\omega = \frac{n_0}{n \cdot \Delta\tau} = \frac{8760}{T_0}, \quad (3)$$

где  $n_0$  – количество повреждений (отказавших) элементов;  $n$  – общее количество соответствующих (однотипных) элементов системы;  $\Delta\tau$  – рассматриваемый (заданный) временной период;  $T_0$  – количество часов отказов системы в течении года.

Элементы, используемые в деятельности тепловой электрической станции, предполагают два возможных вида соединения – последовательное и параллельное.

Последовательное соединение элементов предполагает выход из строя одного элемента «цепочки» – котла, турбины или электрогенератора. При таком виде соединения выход из строя одного элемента приводит к отказу всего энергетического блока. При этом частота отказов такой системы  $\omega$  численно равно сумме отказов ее отдельных элементов  $\omega_i$  [1]

$$\omega = \sum_{i=1} \omega_i. \quad (4)$$

Время восстановления таких систем ( $T_B$ ) составит

$$T_B = \frac{\sum \omega_i \cdot T_{Bi}}{\sum \omega_i}, \quad (5)$$

где  $T_{Bi}$  – время восстановления отдельных элементов системы.

При параллельном соединении отдельных элементов на ТЭЦ, чаще всего характерно для использования паровых котлов, отдельных энергоблоков в крупных системах и резервированных схем. При этом частота отказов параллельной системы составит

$$\omega = \frac{\omega_1 \omega_2 \cdot (T_{B1} + T_{B2})}{8760}, \quad (6)$$

где  $\omega_1, \omega_2$  - частота отказов элементов первой и второй ветки соответственно;  $T_{B1}, T_{B2}$  - время, необходимое для восстановления первой и второй ветки системы соответственно.

Полное время восстановления системы при параллельном резервировании составит

$$T_B = \frac{T_{B1} \cdot T_{B2}}{T_{B1} + T_{B2}}. \quad (7)$$

Резервирование на тепловых электрических станциях представляет собой один из методов, способствующих повышению показателей надежности того или иного объекта. Это достигается с помощью использования в работе дополнительных элементов помимо тех, что являются необходимым минимумом для обеспечения работоспособности объекта в процессе выполнения функциональных задач [1, 5].

**3. Резервирование систем.** Систему можно представить как некий ступечатый ряд, в котором каждая ступень отвечает за определенные функции. Ключевой целью резервирования в контексте повышения надежности тепловых электрических станций является поиск необходимого количества резервных образцов оборудования для обеспечения заданного уровня надежности системы при наименьшей стоимости [6, 9].

Существуют различные виды резервирования, используемые на тепловых электрических станциях [10, 11].

1. Элементное резервирование (в некоторых источниках упоминается как «структурное») предполагает использование избыточных элементов структуры того или иного объекта. В данном случае резервирование производится посредством подключения резервной аппаратуры к основной.

2. Функциональное резервирование предполагает использование возможностей элементов выполнять дополнительные функции. Работоспособность дополнительных операций и функций возможно как параллельно, так и «вместо» основных элементов.

3. Временное резервирование как метод повышения надежности объекта предполагает особый план работы системы, предполагающий создание специального «временного резерва», который позволяет выполнять поставленные функциональные задачи. Следует отметить, что данный «временной резерв» используются для разных целей (например, для ремонта и устранения причин отказов, повторения операций и т.д.).

4. Информационное резервирование предполагает использование избыточной информации помимо той, что необходима для выполнения работ в соответствии с утвержденными целями деятельности.

5. Нагрузочное резервирование предполагает использование возможности элементов объектов осуществлять больший объем работы помимо того, что установлен в качестве «номинального» в нормативно-технической документации.

**Выводы.** Проанализировав особенности тепловых электрических станций, значимость надежности как свойства объекта, возможные проблемы и причины их возникновения, приводящие объект к неисправному и неработоспособному состоянию, следует, что важное значение имеет правильная организация сбора сведений об отказах.

В качестве статистических данных целесообразно использование параметров эксплуатационных и пуско-наладочных работ системы. Проблемы повышения эффективности работы теплоэнергетической системы и ее бесперебойности невозможно решить без повышения показателей ее надежности, как основной характеристики работоспособности системы.

#### Библиографический список

1. Отказы и повреждения в работе энергооборудования [Электронный ресурс]. URL: <https://studfile.net/preview/1127781/> (дата обращения 05.08.2022).
2. Повреждения крепежных деталей турбинного оборудования [Электронный ресурс]. URL: [https://ozlib.com/818178/tehnika/povrezhdeniya\\_krepezhnyh\\_detaley](https://ozlib.com/818178/tehnika/povrezhdeniya_krepezhnyh_detaley) (дата обращения 15.07.2022).
3. Комбинированная выработка тепловой и электрической энергии / 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.
4. Волкова Ю.В., Петрикеева Н.А. Технологические схемы очистки дымовых газов от оксидов серы // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. 2012. №2(7). С. 10–13.
5. Ермоленко Д.В., Колосов А.И., Мартыненко Г.Н. Надежность теплоэнергетических систем // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. 2022. № 3 (28). С. 6–10.
6. Применение теории игр при принятии решения в выборе оптимального варианта в энергетических системах / Е.А. Копытина, Н.А. Петрикеева, Г.Н. Мартыненко, Д.М. Чудинов // Энергобезопасность и энергосбережение. 2020. №4. С. 29–33.
7. 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.
8. 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.
9. Петрикеева Н.А., Березкина Л.В., Колосов А.И. Зависимость концентрации оксидов азота от величины теплопотерь с уходящими дымовыми газами теплогенерирующих установок // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. 2010. №2(18). С. 121–125.
10. Гладышева Т.Ю., Петрикеева Н.А. Основные направления реконструкции инженерных систем зданий и сооружений // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. 2016. №2(23). С. 14–21.
11. Реконструкция инженерного оборудования жилых зданий / О.А. Сотникова, Д.М. Чудинов, Н.А. Петрикеева, Н.М. Попова // Научно-технические проблемы совершенствования и развития систем газопитания. 2018. №1. С. 216–223.

*Для цитирования:* Беленко И.В., Складов К.А., Петрикеева Н.А. Надежность работы тепловых электрических станций // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. 2022. № 4 (29). С. 40–45.

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

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

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

1.1. *Введение* предполагает:

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

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

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

1.4. Оригинальность научной работы должна составлять не менее 75 %, при этом величина цитирования и самоцитирования в это значение не входят.

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*, *Выводы*, которые также выделяются заголовками. Каждая из этих частей в краткой форме передает содержание соответствующих частей текста - введения, основного текста и выводов. Аннотация приводится сразу после информации об авторах.

Требуемый объем аннотации – 7÷10 строк, набранных шрифтом высотой 10 пт. Отступ справа и слева – 1 см, выравнивание по ширине.

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

4. Объем статьи должен составлять не менее 4 и не более 10 страниц формата А 4. Поля слева и справа – по 2 см, снизу и сверху – по 2,5 см.

5. Обязательным элементом статьи является индекс УДК, который приводится перед заглавием.

6. Ключевые слова, расположенные в тексте после аннотации, приводятся шрифтом высотой 10 пунктов и помогают в поиске материала статьи в сети Интернет.

7. 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.

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

9. 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.

10. На первой странице внизу также обязательным элементом является указание авторского знака © с перечислением ФИО всех авторов и года издания статьи.

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 только в редакторе формул MathType. Расположение формулы по центру, нумерация по правому краю. 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 Р 7.0.5-2008. Список источников приводится в алфавитном порядке или по порядку их упоминания в тексте.

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

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

16. Для публикации статьи необходимо заполнить и выслать на адрес редакции сопроводительное письмо (шаблон письма размещен на сайте журнала <http://journal-gik.wmsite.ru>).

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

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

19. 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.

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