

**ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО  
ИНФРАСТРУКТУРА  
КОММУНИКАЦИИ**

**Выпуск № 3 (12) 2018**

**ПО ВОПРОСАМ РАЗМЕЩЕНИЯ СТАТЬИ  
ОБРАЩАТЬСЯ**

**В РЕДАКЦИЮ НАУЧНОГО ЖУРНАЛА**

АДРЕС РЕДАКЦИИ:

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

тел.: +7(473)2-71-53-21;

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

Ознакомиться с *электронной версией журнала* можно на сайте:

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

Ознакомиться с *полнотекстовой версией журнала* можно на сайте

Российской универсальной научной электронной библиотеки:

<http://www.elibrary.ru>

# ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО ИНФРАСТРУКТУРА КОММУНИКАЦИИ

**№ 3 (12)**

**Октябрь, 2018**

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

**Воронеж**

ISSN 2413-6751

# **GRADOSTROITELSTVO INFRASTRUKTURA KOMMUNIKATSII**

**№ 3 (12)**

**October, 2018**

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

**Voronezh**



**ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО  
ИНФРАСТРУКТУРА  
КОММУНИКАЦИИ**

Научный журнал

Издается с 2015 года

Выходит 4 раза в год

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

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

**РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ**

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

**РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ**

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

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

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

**Бондарев Б. А.**, д-р техн. наук, проф., Липецкий государственный технический университет  
**Енин А. Е.**, канд. архит, доц., Воронежский государственный технический университет  
**Зубков А. Ф.**, д-р техн. наук, проф., Тамбовский государственный технический университет  
**Калгин Ю. И.**, д-р техн. наук, проф., Воронежский государственный технический университет  
**Капустин П. В.**, канд. арх., доц., Воронежский государственный технический университет  
**Кобелев Н. С.**, д-р техн. наук, проф., Юго-западный государственный университет, г. Курск  
**Козлов В. А.**, д-р физ.-мат. наук, доц., Воронежский государственный технический университет  
**Кузнецов С. Н.**, д-р техн. наук, доц., Воронежский государственный технический университет

**Кушев Л. А.**, д-р техн. наук, проф., Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова  
**Леденев В. И.**, д-р техн. наук, проф., Тамбовский государственный технический университет  
**Лобода А. В.**, д-р физ.-мат. наук, доц., Воронежский государственный технический университет  
**Подольский Вл. П.**, д-р техн. наук, проф., Воронежский государственный технический университет  
**Самодурова Т. В.**, д-р техн. наук, проф., Воронежский государственный технический университет  
**Чесноков Г. А.**, канд. арх., доц., Воронежский государственный технический университет  
**Шубенков М. В.**, д-р арх., проф., Московский архитектурный институт (Государственная академия)

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

Дата выхода в свет 31.10.2018. Усл. печ. л. 6.28. Формат 60×84/8. Тираж 500 экз. Заказ № 183  
Свидетельство о регистрации ПИ № ФС77-68664  
выдано Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий  
и массовых коммуникаций (Роскомнадзор)

Цена свободная

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

ОТПЕЧАТАНО: Бизнес-Полиграфия, г. Воронеж



**GRADOSTROITELSTVO  
INFRASTRUKTURA  
KOMMUNIKATSII**

Periodical scientific edition

Published since 2015

Comes out 4 times per annum

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

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

**EDITORIAL COUNCIL**

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

**EDITORIAL BOARD**

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Date of publication 31.10.2018. Conventional printed sheets 6.28. Format 60×84/8. Circulation 500 copies. Order 183

Registration certificate ПИ № ФС77-68664

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

Price free

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

PRINTED: Business- printing, Voronezh

## СОДЕРЖАНИЕ

|                                                                                                                                                             |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ, ВЕНТИЛЯЦИЯ, КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА,<br/>ГАЗОСНАБЖЕНИЕ И ОСВЕЩЕНИЕ</b> .....                                                           | 9  |
| <i>Морозова А. А., Штилов Р. А., Лукьяненко В. И.</i><br>Определение критериев подбора насосного агрегата.....                                              | 9  |
| <i>Чуйкина А. А., Бохан А. Р., Покатаева В. В., Коломийчук А. Р.</i><br>Зависимость материальных характеристик тепловой сети от распределения нагрузки..... | 16 |
| <i>Кадонцева И. С., Нилова А. В.</i><br>Солнечная энергия как альтернативный источник теплоснабжения .....                                                  | 21 |
| <b>СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ</b> .....                                                                                                  | 25 |
| <i>Калинина А. И., Крыженко А. С., Бохан А. Р., Покатаева В. В.</i><br>Техническое обследование строительных конструкций зданий и сооружений.....           | 25 |
| <b>СТРОИТЕЛЬСТВО И ЭКСПЛУАТАЦИЯ НЕФТЕГАЗОПРОВОДОВ,<br/>БАЗ И ХРАНИЛИЩ</b> .....                                                                             | 33 |
| <i>Кузнецов С. Н., Дуванов К. С.</i><br>Оценка зависимости полного коэффициента теплопередачи от плотности и вязкости нефти.....                            | 33 |
| <i>Долбилова М. А., Губин А. А.</i><br>Анализ современных систем обнаружения утечек на магистральных нефтепроводах .....                                    | 40 |
| <i>Тульская С. Г., Короткова Е. А.</i><br>Обоснование ресурсосберегающих технических решений резервуарных установок сжиженного газа... ..                   | 46 |
| <b>ПРАВИЛА НАПИСАНИЯ И ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЕЙ</b> .....                                                                                                          | 53 |

## CONTENTS

|                                                                                                              |           |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>HEAT AND GAS SUPPLY, VENTILATION, AIR CONDITIONING,<br/>GAS SUPPLY AND ILLUMINATION.....</b>              | <b>9</b>  |
| <i>Morozova A. A., Shipilov R. A., Lukyanenko V. I.</i>                                                      |           |
| Determination of criteria for selecting the pump unit .....                                                  | 9         |
| <i>Chuykina A. A., Bohan A. R., Kataeva V. V., Kolomiychuk A. R.</i>                                         |           |
| The dependence of the material characteristics of the heat network to the load distribution.....             | 16        |
| <i>Kadontseva I. S., Nilova A. V.</i>                                                                        |           |
| Solar energy as alternative source of heat supply.....                                                       | 21        |
| <b>BUILDING STRUCTURES, BUILDINGS AND STRUCTURES.....</b>                                                    | <b>25</b> |
| <i>Kalinina A. I., Scryzhenko A. S., Bokhan A. R., Pokataev V. V.</i>                                        |           |
| Technical survey of building structures of buildings and structures.....                                     | 25        |
| <b>CONSTRUCTION AND OPERATION OF OIL PIPELINES,<br/>BASES AND STORAGE FACILITIES.....</b>                    | <b>33</b> |
| <i>Kuznetsov S. N., Duvanov K. S.</i>                                                                        |           |
| The estimation of the dependence of internal heat transfer coefficient the density and viscosity of oil..... | 33        |
| <i>Dolbilova M. A., Gubin A. A.</i>                                                                          |           |
| Analysis of modern systems of detection of leaks in oil pipelines.....                                       | 40        |
| <i>Tulskaya S. G., Korotkova E. A.</i>                                                                       |           |
| Rationale for resource-saving technical decisions lpg reservoir installations.....                           | 46        |
| <b>RULES OF PREPARATION OF ARTICLES .....</b>                                                                | <b>53</b> |

# ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ, ВЕНТИЛЯЦИЯ, КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА, ГАЗОСНАБЖЕНИЕ И ОСВЕЩЕНИЕ

УДК 629

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ КРИТЕРИЕВ ПОДБОРА НАСОСНОГО АГРЕГАТА

А. А. Морозова, Р. А. Шипилов, В. И. Лукьяненко

*Воронежский государственный технический университет**А. А. Морозова, студент кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела**Россия, г. Воронеж, тел.: +7(909)211-97-39, e-mail: anastasiya\_morozova\_94@mail.ru**Р. А. Шипилов, студент кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела**Россия, г. Воронеж, тел.: +7(900)304-62-51, e-mail: glen2009@mail.ru**В. И. Лукьяненко, канд. техн. наук, доц. кафедры теоретической и промышленной теплоэнергетики**Россия, г. Воронеж, тел.: +7(920)438-09-01, e-mail: lukyanenko1@yandex.ru*

**Постановка задачи.** Определить критерии подбора центробежных насосов и насосных групп для перекачивания теплоносителя в закрытых водяных системах теплоснабжения на основе технико-экономических расчетов. Определить параметры, влияющие на эффективность работы, при правильном выборе которых будет достигаться наиболее высокий КПД.

**Результаты.** Проанализированы рабочие характеристики насоса, при которых достигается наиболее выгодное соотношение требуемых параметров системы и экономического эффекта.

**Выводы.** В настоящей статье сформулированы некоторые рекомендации по подбору насосов и насосных групп, применение которых повысит эффективность эксплуатации, а также позволит проводить сравнительный анализ различного оборудования при проектировании систем теплоснабжения с принудительной циркуляцией теплоносителя.

**Ключевые слова:** применение насосов, параметры насосов, оптимальный подбор насосов.

**Введение.** Насосы – гидравлические машины, предназначенные для перемещения жидкостей. Они преобразуют механическую энергию двигателей в кинетическую энергию потока жидкости. Насосы являются наиболее часто встречающимися в современной промышленности и бытовой сфере разновидностью гидравлических машин [1–4]. Они используются в следующих целях:

- насосные установки для повышения давления, необходимые для подачи воды в здание при недостаточном давлении в системе городского водоснабжения;
- насосы для систем ГВС, обеспечивающие подачу горячей воды в любое время;
- насосы для отвода и дренажа сточных и грязных вод;
- насосы для фонтанов и аквариумов;
- насосы для противопожарного применения;
- насосы для холодной воды и систем охлаждения;
- насосные установки, использующие дождевую воду для туалетов, стиральных машин, уборки или полива и многие другие.

Насосы подразделяются на две основные категории:

1. Объемными называются насосы, в которых жидкость перекачивается по средствам периодического изменения объема камеры, попеременно сообщаемой с входом и выходом насоса.

2. Динамическими называются насосы, в которых среда в камере перемещается под силовым воздействием и имеет постоянное сообщение с входным и выходным патрубками. Это воздействие осуществляется при помощи рабочего колеса, сообщаящего жидкости кинетическую энергию, трансформируемую в энергию давления. Динамическими являются насосы лопастные, электромагнитные, трения и инерции.

При выборе насосов следует учитывать ряд параметров, правильный выбор которых будет положительно отражаться на дальнейшей его эксплуатации.

**1. Основные параметры, учитываемые при выборе насоса.** Работа насосных установок характеризуется основными параметрами:

- подача (расходом перемещаемой среды);
- создаваемое давление;
- потребляемая мощность;
- эффективность работы.

Подача – количество (объем) среды, проходящей через насос в единицу времени. Она бывает массовой  $M$ , кг/с, и объемной  $Q$ , м<sup>3</sup>/с. Связь между этими величинами следующая:

$$Q = \rho \cdot M, \quad (1)$$

где  $\rho$  – плотность среды.

Для насосов используется объемная подача.

Давление  $\Delta p$ , Па, развиваемое насосами, определяется как разница энергии потока в нагнетательном трубопроводе, то есть на выходе из нагнетателя (точка 2) и во всасывающем трубопроводе, то есть на входе в него (точка 1):

$$\Delta p = p_2 - p_1 + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2} \rho + \rho \cdot g(h_2 - h_1), \quad (2)$$

где  $p_1, p_2$  – давление, Па;  $v_1, v_2$  – скорость потока, м/с;  $\rho$  – плотность перемещаемой среды, кг/м<sup>3</sup>;  $g$  – ускорение свободного падения, 9,81 м/с<sup>2</sup>;  $h_1, h_2$  – высота точек замеров, м (можно использовать расстояние между точками по вертикали  $\Delta h = h_2 - h_1$ ) (рис.1).

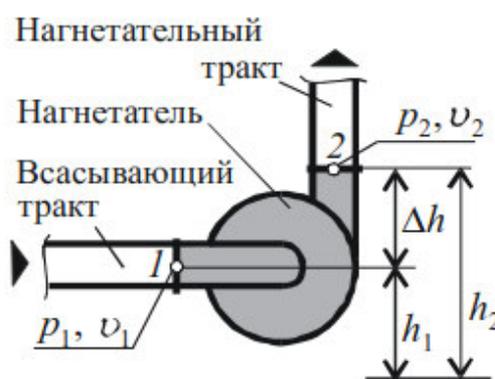


Рис. 1. Схема параметров нагнетателя

Скорость среды в трубопроводах можно определить по известному расходу (подаче) и сечению трубы или канала:

$$v = Q / S. \quad (3)$$

Данную формулу возможно разделить на статическую и динамическую составляющие:

$$\Delta p = \Delta p_{cm} - \Delta p_{дин}, \quad (4)$$

где

$$\Delta p_{cm} = p_2 - p_1 + \rho \cdot g(h_2 - h_1), \quad (5)$$

$$\Delta p_{дин} = \frac{v_2^2 - v_1^2}{2} \rho. \quad (6)$$

Напор – давление, выражаемое в высоте столба перемещаемой жидкости. Связь между напором  $H$ , м, и давлением  $p$ , Па, следующая:

$$H = \frac{p}{g \cdot \rho}, \quad (7)$$

$$p = \rho \cdot g \cdot H. \quad (8)$$

Таким образом, напор  $H$ , м, развиваемый насосом, имеет вид

$$H = H_2 - H_1 + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2g} + h_2 - h_1. \quad (9)$$

Напор, развиваемый насосом, измеряется в метрах столба перемещаемой жидкости. Важность данной характеристики вызвано тем, что эта величина имеет физический смысл. Напор равен высоте, на которую насос может поднять жидкость без учета сил трения в трубопроводе и изменения скорости потока.

Работа насоса заключается в преобразовании подводимой энергии в работу, затрачиваемую на увеличение кинетической и потенциальной энергии потока. Для насосов различают удельную полезную работу и мощность, подводимую на вал насоса и электродвигателя.

Удельной полезной работой  $A_n$ , Дж/кг, называется работа, получаемая 1 кг потока. Так как ее можно представить как работу поднятия 1 кг среды на высоту  $H$ , то

$$A_n = g \cdot H = \frac{\Delta p}{\rho}. \quad (10)$$

Полезной мощностью  $N_n$ , Вт, называется работа, сообщаемая потоку в единицу времени:

$$N_n = M \cdot A_n = \rho \cdot g \cdot H \cdot Q, \quad (11)$$

где  $M$  – массовый расход, кг/с.

При работе насоса неизбежны потери энергии (рис. 2). Эффективность работы насосного агрегата характеризуется коэффициентами полезного действия (далее КПД), являющимися отношением полезной мощности к мощности, подводимой на вал насоса  $N$  или к мощности, потребляемой электродвигателем  $N_{эд}$ , таким образом:

$$- \text{КПД насоса } \eta = \frac{N_n}{N};$$

$$- \text{КПД насосного агрегата } \eta = \frac{N_n}{N_{эд}}.$$

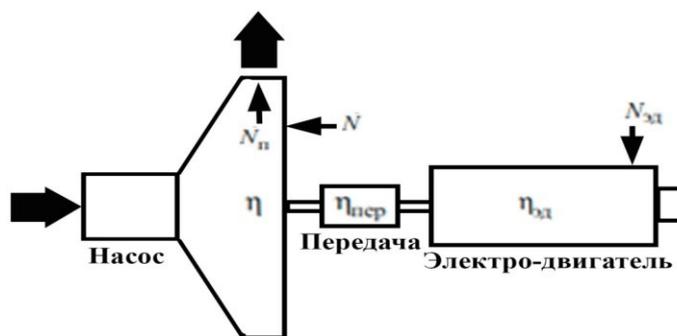


Рис. 2. Потери энергии насосного агрегата

КПД насоса  $\eta$  определяется тремя видами потерь:

- потери, связанные с трением в потоке и неравномерности потока (потери характеризуются гидравлическим КПД  $\eta_g$ );
- потери, связанные с перетеканием части потока мимо рабочих частей насоса (потери характеризуются объемным КПД  $\eta_o$ );
- потери из-за трения в рабочих частях насоса (потери характеризуются механическим КПД  $\eta_m$ ).

Таким образом КПД насоса складывается из трех составляющих

$$\eta = \eta_g \cdot \eta_o \cdot \eta_m. \quad (12)$$

Гидравлический  $\eta_g$  и объемный  $\eta_o$  КПД, определяющие эффективность работы насоса по передаче энергии потоку, возможно объединить во внутренний КПД  $\eta_i$ :

$$\eta_i = \eta_g \cdot \eta_o. \quad (13)$$

Насосная установка состоит из следующих элементов:

- привода, которым обычно является электродвигатель;
- механической или гидравлической передачи;
- нагнетателя насоса.

Потери мощности происходят в каждом элементе насосной установки, поэтому её КПД состоит из КПД нагнетателя  $\eta$ , электродвигателя  $\eta_{эд}$  и передачи  $\eta_{пер}$ :

$$\eta_{уст} = \eta \cdot \eta_{пер} \cdot \eta_{эд}. \quad (14)$$

Мощность, подводимая к валу насоса, и потребляемая электроприводом, определяется через полезную мощность и соответствующий КПД:

$$N = \frac{N_n}{\eta} = \frac{\rho \cdot g \cdot H}{\eta} = \frac{Q \cdot \Delta p}{\eta}, \quad (15)$$

$$N_{эд} = \frac{N_n}{\eta_{уст}} = \frac{\rho \cdot g \cdot H \cdot Q}{\eta_{уст}} = \frac{Q \cdot \Delta p}{\eta_{уст}}. \quad (16)$$

Окончательная установочная мощность двигателя определяется мощностью двигателя с учетом возможной перегрузки в момент запуска.

Коэффициент запаса мощности может быть приближенно выбран из таблицы.

Таблица

Коэффициент запаса мощности

| N, кВт  | менее 1 | от 1 до 5 | от 5 до 50 | более 50 |
|---------|---------|-----------|------------|----------|
| $\beta$ | 2 – 1,5 | 1,5 – 1,2 | 1,2 – 1,15 | 1,1      |

КПД электродвигателя  $\eta_{\text{эо}}$  в основном зависит от его мощности и отношения текущей нагрузки к номинальной мощности [2]. В большинстве случаев для маломощных синхронных двигателей можно принять  $\eta_{\text{эо}} = 0,9$ , для мощных  $\eta_{\text{эо}} = 0,95$ .

**2. Графические характеристики насосов.** Напор, мощность и КПД насоса зависят от его подачи. Эта зависимость однозначная, а именно при заданной подаче возможно только одно значение остальных характеристик. Поэтому указанные ниже характеристики могут изображаться в табличном или графическом виде:

- напорную характеристику (зависимость напора  $H$  от подачи  $Q$ );
- характеристику мощности (зависимость мощности на валу двигателя  $N$  или мощности, подводимой к электродвигателю  $N_{\text{эд}}$ , от подачи  $Q$ );
- КПД (зависимость  $\eta$  от подачи  $Q$ ).

Мощность и КПД насосной установки взаимосвязаны и могут быть рассчитаны одна из другой. В характеристиках двигателя обязательно приводится частота, при которой они получены. Согласно стандарту, она указывается в об/мин.

Существует также понятие – рабочая точка, это точка, в которой пересекаются характеристики насоса и системы (рис.3).

Это означает, что в этой точке достигается равновесие между полезной мощностью насоса и мощностью, потребляемой трубопроводной сетью. То есть напор насоса всегда равен сопротивлению системы. От этого зависит также подача, которая может быть обеспечена насосом.

Также нужно учесть, что подача не должна быть ниже определенного значения. Иначе это может вызвать повышение температуры в насосной камере и, как следствие, повреждение насоса. Во избежание этого следует неукоснительно соблюдать инструкции производителя. Также нахождение рабочей точки за пределами характеристики насоса может привести к выходу из строя всего насосного агрегата.

При изменении подачи в процессе работы насоса происходит смещение рабочей точки. Определение оптимального значения рабочей точки в соответствии с максимальными эксплуатационными требованиями позволит наиболее эффективно использовать выбранное насосное оборудование. Смещение рабочей точки влево от расчетного оптимального положения приводит к увеличению напора насоса. В результате этого возникает шум. Регулирование значений напора и подачи может производиться частотными преобразователями.

На графических изображениях выделяется участок работы с допустимым КПД, называемым полем рабочих параметров (рабочая часть) (рис.4).

При работе насосов их КПД не должен отличаться от максимального  $\eta_{\text{max}}$  более чем на 7 %. Вне этой области даже при незначительном изменении подачи КПД начинает резко падать и эффективность работы насоса снижается. На напорной характеристике возможно указание номинального режима работы насоса, то есть режима с максимальным КПД. Если конструкция насоса допускает его регулирование, то на одной графической характеристике может быть семейство графиков при различных параметрах насоса (рис.5), например:

а) при разной обточке (разном диаметре) рабочего колеса, характеристики для не обточенного колеса приводятся без индексов, с обточкой – с индексами «а», «б» и т.д.;

- б) при разных положениях лопаток направляющего аппарата;  
в) при разных частотах вращения.

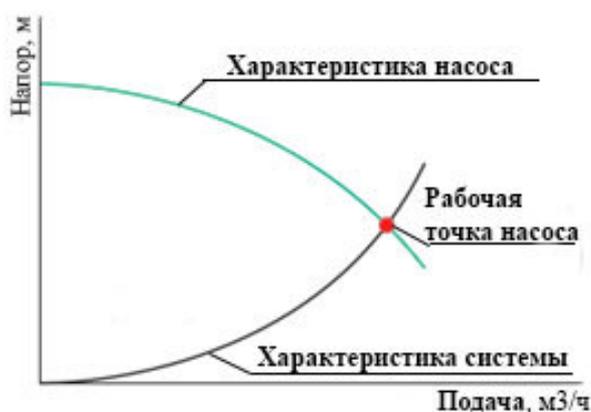


Рис. 3. Схема определения рабочей точки

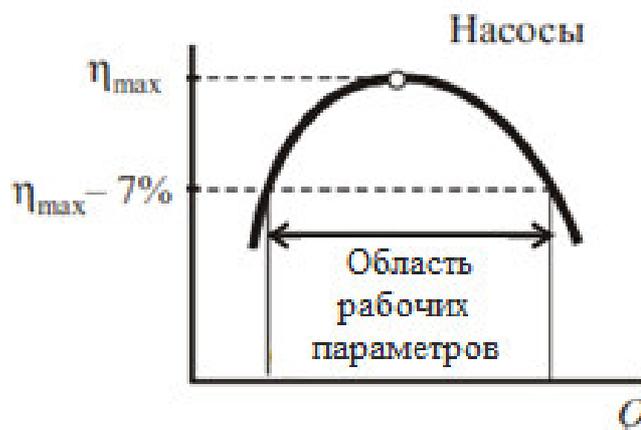


Рис. 4. Области КПД

Режим работы насоса при отсутствии подачи (то есть при перекрытой задвижке за ним) называют холостым ходом; выделяют напор и мощность холостого хода.

Заводы-производители обязательно включают графическую характеристику в паспорт насоса. Они выпускают также каталоги изготавливаемых насосов, где приводят их графические характеристики и размеры. Для однотипных машин в каталогах приводится сводный график, по которому, зная требуемый напор и подачу, можно предварительно выбрать нужный тип насоса (с обязательным последующим уточнением по графической характеристике).

Приводимые в каталогах данные, являются ориентировочными и для точного расчета необходимо использованием характеристик из паспорта насоса.

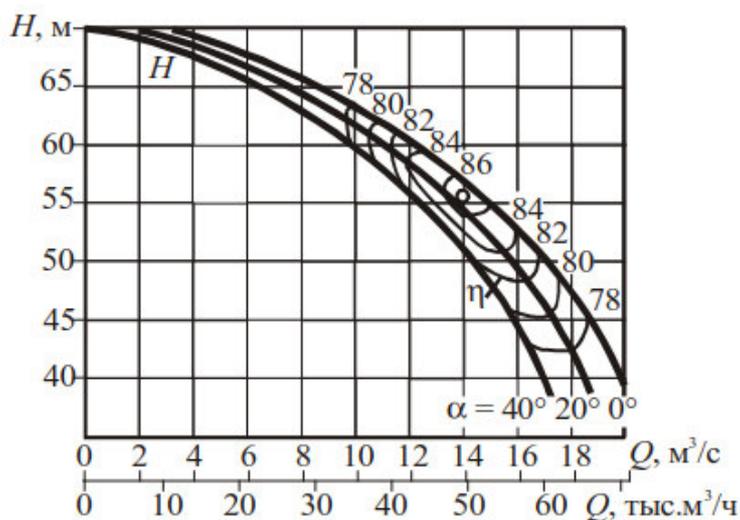


Рис. 5. Напорные характеристики насоса

**Выводы.** Оптимально подобранные характеристики насоса позволяют обеспечить поддержание необходимых параметров сети, снизить вероятность возникновения аварийных ситуаций, увеличить продолжительность срока службы и достичь экономической эффективности при его работе. В настоящей статье сформулированы некоторые рекомендации по подбору насосов и насосных групп, применение которых повысит эффективность их работы в процессе эксплуатации, а также позволит проводить сравнительный анализ различного оборудо-

вания при проектировании систем теплоснабжения с принудительной циркуляцией теплоносителя. Основные задачи инженерных изысканий – проанализировать зависимость основных параметров насосов и мощности их двигателей, что в свою очередь является критерием их энергоэффективности.

#### Библиографический список

1. Трубаев, П. А. Гидравлические машины и системы технического водоснабжения: Учеб. Пособие. / П. А. Трубаев, П. В. Беседин, Б. М. Гришко. – Белгород: Изд-во БелГТАСМ, БИЭИ, 2002. – 132 с.
2. Чебаевский, В. Ф. Проектирование насосных станций и испытание насосных установок. / В. Ф. Чебаевский, К. П. Вишневецкий, Н. Н. Накладов. – М.: Колос, 2000. – 376 с.
3. Шаммазов, А. М. Проектирование и эксплуатация насосных и компрессорных станций. Учебник для вузов. / А. М. Шаммазов, В. Н. Александров, А. И. Гольянов, Г. Е. Коробков, Б. Н. Мастобаев. – М.: НедраБизнесцентр, 2003. – 404 с.
4. Турк, В. И. Насосы и насосные станции. / В. И. Турк, А. В. Минаев, В. Я. Карелин. – М.: Стройиздат, 1976. – 304 с.
5. Исанова, А. В. Влияние параметров работы теплонасосной установки системы теплоснабжения на выбор энергосберегающего режима её функционирования / А. В. Исанова, Г. Н. Мартыненко, В. И. Лукьяненко // Международный научно-исследовательский журнал. – 2015. – № 2 – 1 (33). – С. 36–39.
6. Китаев, Д. Н. Слив светлых нефтепродуктов на автозаправочных станциях / Д. Н. Китаев, Г. Н. Мартыненко // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Высокие технологии. Экология. – 2017. – № 1. – С. 89-92.
7. Мартыненко, Г. Н. Основы автоматизации тепловых процессов: учебное пособие / Г. Н. Мартыненко, А. В. Исанова, В. И. Лукьяненко. – Воронеж, 2015. – 70 с.

## DETERMINATION OF CRITERIA FOR SELECTING THE PUMP UNIT

A. A. Morozova, R. A. Shipilov, V. I. Lukyanenko

*Voronezh State Technical University*

*A. A. Morozova, student of the Department of Heat and Gas Supply and Oil and Gas Business*

*Russia, Voronezh, tel.: +7 (909) 211-97-39, e-mail: anastasiya\_morozova\_94@mail.ru*

*R. A. Shipilov, student of the Department of Heat and Gas Supply and Oil and Gas Business*

*Russia, Voronezh, tel.: +7(900)304-62-51, e-mail: glen2009@mail.ru*

*V. I. Lukyanenko, PhD in Engineering, Assoc. Prof. of the Dept. of Theoretical and Industrial Heat Power Engineering*

*Russia, Voronezh, tel.: +7(920)438-09-01, e-mail: lukyanenko1@yandex.ru*

**Statement of the problem.** Consider in this article the criteria for the selection of centrifugal pumps and pump groups for pumping coolant in closed water heating systems, taking into account technical and economic calculations. To determine the parameters that affect the efficiency of work, with the correct choice of which the highest efficiency will be achieved.

**Results.** The performance characteristics of the pump are analyzed, at which the most favorable ratio of the required parameters of the system and the economic effect is achieved.

**Conclusions.** In this article some recommendations on the selection of pumps and pump groups, the use of which will increase the efficiency of operation, as well as allow a comparative analysis of various equipment in the design of heat supply systems with forced circulation of the coolant.

**Keywords:** application of pumps, pump parameters, optimal selection of pumps.

*Для цитирования: Морозова, А. А. Определение критериев подбора насосного агрегата / А. А. Морозова, Р. А. Шипилов, В. И. Лукьяненко // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. – 2018. – № 3 (12). – С. 9–15.*

*For citation: A. A. Morozova Determination of criteria for selecting the pump unit / A. A. Morozova, R. A. Shipilov, V. I. Lukyanenko // Gradostroitelstvo. Infrastruktura. Kommunikatsii. – 2018. – № 3 (12). – Pp. 9–15.*

УДК 697.33:697.34

## ЗАВИСИМОСТЬ МАТЕРИАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕПЛОВОЙ СЕТИ ОТ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НАГРУЗКИ

А. А. Чуйкина, А. Р. Бохан, В. В. Покатаева, А. Р. Коломийчук

*Воронежский государственный технический университет*

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

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

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

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

**Постановка задачи.** Большой интерес вызывает изучение вопроса влияния формы территории застройки и неравномерности распределения тепловой нагрузки на величину материальной характеристики тепловой сети. Изучению данного вопроса и посвящается данная статья.

**Результаты и выводы.** В работе проведено численное исследование материальных характеристик тепловых сетей в зависимости от их конфигурации при неравномерном распределении тепловой нагрузки. Проведенные расчеты показывают, что существующие зависимости не могут отражать достоверную информацию при поиске материальной характеристики тепловой сети, их необходимо уточнить либо предложить новые зависимости, с учетом анализа имеющихся данных и статистических зависимостей.

**Ключевые слова:** теплоснабжение, конструирование трубопроводов, материальная характеристика тепловых сетей, распределение тепловой нагрузки.

**Введение.** В работе [1] исследовались существующие зависимости для определения материальной характеристики тепловой сети при равномерном распределении тепловой нагрузки в районах строительства различной конфигурации. Отмечается, что материальные характеристики тепловой сети, вычисленные с помощью рассматриваемых зависимостей, значительно отличаются, и их различие колеблется от 30 % до 55 %. В связи с этим большой интерес вызывает исследование соотношения материальных характеристик тепловых сетей при равномерном и неравномерном распределении тепловых нагрузок по площади застройки. Зависимости для определения материальных характеристик рассматриваются в работах [1- 8] и в данной статье приводятся не будут.

**1. Численное исследование материальных характеристик тепловых сетей в зависимости от распределения тепловой нагрузки.** Расчетные схемы систем теплоснабжения представлены на рисунках 1, 2 и 3 в работе [1]. К расчету принимается двухтрубная водяная централизованная система теплоснабжения с различными расходами теплоносителя и теплоты на каждом ЦТП. Схемы одинакового типа различаются трассировкой сети трубопроводов системы теплоснабжения и расположением источника теплоты. Для расчетов применяются зависимости (1), (2), (3), приведенными в работе [1].

Результаты расчета материальных характеристик тепловых сетей приведены в таблице 1.

Результаты расчета материальных характеристик тепловых сетей по формуле (5) в работе [1], приведены в таблице 2. Для расчета вся сеть была разбита на участки.

Таблица 1

Результаты расчета материальных характеристик по удельным показателям

| Ответвления                              | $G$ , кг/с | $M_{y0}$ , м <sup>2</sup> /(кг/с) | $M_z$   | $M$     |
|------------------------------------------|------------|-----------------------------------|---------|---------|
| Планировка, представленная на рисунке 1  |            |                                   |         |         |
| 1                                        | 7,74       | 67,2                              | 520,128 | 520,128 |
| Планировка, представленная на рисунке 3а |            |                                   |         |         |
| 1                                        | 7,975      | 7,2                               | 57,42   | 255,216 |
| 2                                        | 5,492      | 12,78                             | 70,188  |         |
| 3                                        | 7,975      | 7,2                               | 57,42   |         |
| 4                                        | 5,492      | 12,78                             | 70,188  |         |
| Планировка, представленная на рисунке 3г |            |                                   |         |         |
| 1                                        | 3,196      | 7,428                             | 94,93   | 272,719 |
| 2                                        | 3,196      | 7,131                             | 97,0529 |         |
| 3                                        | 2,433      | 5,6067                            | 40,368  |         |
| 4                                        | 2,433      | 5,6067                            | 40,368  |         |
| Планировка, представленная на рисунке 3в |            |                                   |         |         |
| 1                                        | 7,975      | 7,2                               | 57,42   | 255,216 |
| 2                                        | 5,492      | 12,78                             | 70,188  |         |
| 3                                        | 7,975      | 7,2                               | 57,42   |         |
| 4                                        | 5,492      | 12,78                             | 70,188  |         |
| Планировка, представленная на рисунке 3б |            |                                   |         |         |
| 1                                        | 6,89       | 20                                | 137,8   | 275,6   |
| 2                                        | 6,89       | 20                                | 137,8   |         |
| Планировка, представленная на рисунке 2а |            |                                   |         |         |
| 1                                        | 5,8803     | 25,83                             | 151,89  | 303,78  |
| 2                                        | 5,8803     | 25,83                             | 151,89  |         |
| Планировка, представленная на рисунке 2б |            |                                   |         |         |
| 1                                        | 5,287      | 21,67                             | 114,57  | 302,61  |
| 2                                        | 6,21       | 30,28                             | 188,039 |         |
| Планировка, представленная на рисунке 2в |            |                                   |         |         |
| 1                                        | 4,901      | 15,83                             | 77,58   | 310,85  |
| 2                                        | 6,46       | 36,11                             | 233,27  |         |
| Планировка, представленная на рисунке 2г |            |                                   |         |         |
| 1                                        | 5,018      | 8,61                              | 43,205  | 297,55  |
| 2                                        | 5,87       | 43,33                             | 254,35  |         |
| Планировка, представленная на рисунке 2д |            |                                   |         |         |
| 1                                        | 6,952      | 25,83                             | 179,57  | 359,14  |
| 2                                        | 6,952      | 25,83                             | 179,57  |         |

Таблица 2

Результаты расчета материальных характеристик с равномерно распределенной нагрузкой

| Номер<br>схемы<br>(рисунок) | №<br>участков | $M_{уч}, м^2$ | $M_{сети}, м^2$ | Номер<br>схемы<br>(рисунок) | №<br>участков | $M_{уч}, м^2$ | $M_{сети}, м^2$ |
|-----------------------------|---------------|---------------|-----------------|-----------------------------|---------------|---------------|-----------------|
| Линейное зонирование        |               |               |                 |                             |               |               |                 |
| 1                           | 0-1           | 87,87         | 1492,01         | 1                           | 0-17          | 161,23        | 1697,01         |
|                             | 1-2           | 142,23        |                 |                             | 17-18         | 152,77        |                 |
|                             | 2-3           | 137,77        |                 |                             | 18-19         | 144,69        |                 |
|                             | 3-4           | 133,75        |                 |                             | 19-20         | 136,45        |                 |
|                             | 4-5           | 130,24        |                 |                             | 20-21         | 128,06        |                 |
|                             | 5-6           | 128,06        |                 |                             | 21-22         | 119,49        |                 |
|                             | 6-7           | 121,93        |                 |                             | 22-23         | 110,72        |                 |
|                             | 7-8           | 118,66        |                 |                             | 23-24         | 101,72        |                 |
|                             | 8-9           | 112,56        |                 |                             | 24-25         | 92,45         |                 |
|                             | 9-10          | 106,87        |                 |                             | 25-26         | 82,88         |                 |
|                             | 10-11         | 101,72        |                 |                             | 26-27         | 72,93         |                 |
|                             | 11-12         | 93,69         |                 |                             | 27-28         | 62,51         |                 |
|                             | 12-13         | 87,19         |                 |                             | 28-29         | 51,49         |                 |
|                             | 13-14         | 78,16         |                 |                             | 29-30         | 39,56         |                 |
|                             | 14-15         | 64,82         |                 |                             | 30-31         | 26,06         |                 |
|                             | 15-16         | 51,49         |                 |                             | -             | -             |                 |
| Квадратное зонирование      |               |               |                 |                             |               |               |                 |
| 3г                          | 0-1           | 125,168       | 742,287         | 3в                          | 0-1           | 124,329       | 639,3083        |
|                             | 1-6           | 177,79        |                 |                             | 1-6           | 175,2013      |                 |
|                             | 6-8           | 35,844        |                 |                             | 6-7           | 28,361        |                 |
|                             | 8-9           | 62,535        |                 |                             | 7-8           | 44,134        |                 |
|                             | 9-10          | 48,0397       |                 |                             | 1-2           | 28,361        |                 |
|                             | 1-2           | 33,883        |                 |                             | 2-3           | 44,134        |                 |
|                             | 1-3           | 35,844        |                 |                             | 1-4           | 31,378        |                 |
|                             | 3-4           | 62,535        |                 |                             | 4-5           | 62,516        |                 |
|                             | 4-5           | 44,134        |                 |                             | 6-9           | 31,378        |                 |
|                             | 6-7           | 33,883        |                 |                             | 9-10          | 62,516        |                 |
| 3б                          | 0-1           | 93,515        | 544,807         | 2а                          | 0-1           | 136,6         | 730,862         |
|                             | 1-2           | 78,162        |                 |                             | 1-2           | 50,86         |                 |
|                             | 2-3           | 62,516        |                 |                             | 2-3           | 94,91         |                 |
|                             | 3-4           | 44,134        |                 |                             | 3-4           | 84,36         |                 |
|                             | 0-5           | 81,668        |                 |                             | 4-5           | 67,001        |                 |
|                             | 5-6           | 78,162        |                 |                             | 0-6           | 50,86         |                 |
|                             | 6-7           | 62,516        |                 |                             | 6-7           | 94,91         |                 |
|                             | 7-8           | 44,134        |                 |                             | 7-8           | 84,36         |                 |
|                             | -             | -             |                 |                             | 8-9           | 67,001        |                 |
| 3а                          | 1-5           | 44,8506       | 493,257         | -                           | -             | -             | -               |
|                             | 5-4           | 28,361        |                 | -                           | -             | -             | -               |
|                             | 0-6           | 44,134        |                 | -                           | -             | -             | -               |
|                             | 7-8           | 42,7052       |                 | -                           | -             | -             | -               |

Окончание таблицы 2

|                           |      |        |         |    |     |        |         |
|---------------------------|------|--------|---------|----|-----|--------|---------|
|                           | 6-9  | 62,516 |         | -  | -   | -      | -       |
|                           | 9-10 | 92,974 |         | -  | -   | -      | -       |
| Прямоугольное зонирование |      |        |         |    |     |        |         |
| 2б                        | 0-1  | 136,6  | 737,332 | 2в | 0-1 | 136,6  | 759,211 |
|                           | 1-2  | 53,93  |         |    | 1-2 | 57,6   |         |
|                           | 2-3  | 101,72 |         |    | 2-3 | 107,85 |         |
|                           | 3-4  | 94,91  |         |    | 3-4 | 101,71 |         |
|                           | 4-5  | 84,36  |         |    | 4-5 | 94,91  |         |
|                           | 5-6  | 67,001 |         |    | 5-6 | 84,36  |         |
|                           | 1-7  | 47,45  |         |    | 6-7 | 67     |         |
|                           | 7-8  | 84,36  |         |    | 1-8 | 42,18  |         |
|                           | 8-9  | 67,001 |         |    | 8-9 | 67,001 |         |
| 2г                        | 0-1  | 136,6  | 808,931 | 2д | 0-1 | 79,78  | 774,371 |
|                           | 1-2  | 67,75  |         |    | 1-2 | 123,51 |         |
|                           | 2-3  | 115,24 |         |    | 2-3 | 115,24 |         |
|                           | 3-4  | 107,85 |         |    | 3-4 | 107,85 |         |
|                           | 4-5  | 101,72 |         |    | 4-5 | 101,72 |         |
|                           | 5-6  | 94,91  |         |    | 5-6 | 94,91  |         |
|                           | 6-7  | 84,36  |         |    | 6-7 | 84,36  |         |
|                           | 8-9  | 67,001 |         |    | 7-8 | 67,001 |         |
|                           | 1-9  | 33,5   |         |    | -   | -      |         |

**2. Анализ полученных результатов.** Согласно приведенному выше численному исследованию, материальные характеристики тепловой сети, вычисленные с помощью зависимостей (1) и (5) как и в работе [1] значительно отличаются. Кроме того, анализ результатов показывает, что вывести какой либо закономерности изменения величины материальной характеристики тепловой сети от формы территории затруднительно, и, как правило, эта величина зависит от тепловой нагрузки и протяженности трубопроводов. Однако погрешность рассматриваемых формул не позволяет получить достоверный результат анализа материальной характеристики тепловой сети.

**Вывод.** Проведенные расчеты показывают, что существующие зависимости не могут отражать достоверную информацию при поиске материальной характеристики тепловой сети, их необходимо уточнить либо предложить новые зависимости, с учетом анализа имеющихся данных и статистических зависимостей.

#### Библиографический список

1. Чуйкина, А. А. Исследование существующих зависимостей для определения материальной характеристики тепловой сети / А. А. Чуйкина, К. А. Хамидулина, Е. Е. Сошникова, М. А. Яковлева // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. – 2018. – №2 (11). – С. 34- 41.
2. Соколов, Е. Я. Теплофикация и тепловые сети / Е. Я. Соколов. – М.: МЭИ, 2001. – 472 с.
3. Соколов, Е. Я. Теплофикация и тепловые сети / Е. Я. Соколов. – М.: ГЭИ, 1963. – 360 с.
4. Mel'kumov, V. N. Modelling of structure of engineering networks in territorial planning of the city / V. N. Mel'kumov, S. V. Chujkin, A. M. Papshickij, K. A. Sklyarov // Russian Journal of Building Construction and Architecture. – 2015. – № 4 – С. 33- 40.
5. Сеннова, Е. В. Математическое моделирование и оптимизация развивающихся теплоснабжающих систем / Е. В. Сеннова, В. Г. Сидлер. – Новосибирск: Наука, 1987. – 219 с.
6. Хасилев, В. Я. Методы и алгоритмы расчета тепловых сетей / В. Я. Хасилев, А. П. Меренкова и др., под общ. ред. В. Я. Хасилев и А. П. Меренкова. – М.: Энергия, 1978. – 176 с.

7. Мелькумов, В. Н. Выбор математической модели трасс тепловых сетей / В. Н. Мелькумов, И. С. Кузнецов, В. Н. Кобелев // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. – 2011. – № 2. – С. 31-36.

8. Ионин, А. А. Теплоснабжение / А. А. Ионин, Б. М. Хлыбов, В. Н. Братенков, Е. Н. Терлецкая; Под ред. А. А. Ионина. – М.: Стройиздат, 1982. – 336 с.

9. Melkumov, V. N. Modelling of structure of engineering networks in territorial planning of the city / V. N. Melkumov, S. V. Chujkin, A. M. Papshickij, K. A. Sklyarov // Scientific Herald of the Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering. Construction and Architecture. – 2015. – №4 (28). – С. 33-40.

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

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

12. Китаев, Д. Н. Охлаждение воды в трубопроводах системы горячего водоснабжения при отсутствии циркуляции / Д. Н. Китаев, В. Ю. Хузин // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. – 2017. – № 1 (6). – С. 9-13

13. Китаев, Д. Н. Развитие системы теплоснабжения городского округа город Воронеж в долгосрочной перспективе / Д. Н. Китаев // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. – 2010. – № 2. – С. 72-77.

14. Мелькумов, В. Н. Математическое моделирование процессов теплообмена в сетевых трубопроводах систем теплоснабжения / В. Н. Мелькумов, Р. В. Сорокин // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Инженерные системы зданий и сооружений. – 2003. – № 1. – С. 37-38.

15. Панов, М. Я. Перспективность использования гелиоустановок горячего водоснабжения / М. Я. Панов, Д. М. Чудинов, А. И. Колосов // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. – 2016. – № 2 (42). – С. 33-39.

## THE DEPENDENCE OF THE MATERIAL CHARACTERISTICS OF THE HEAT NETWORK TO THE LOAD DISTRIBUTION

A. A. Chuykina, A. R. Bohan, V. V. Kataeva, A. R. Kolomiychuk

*Voronezh State Technical University*

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

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

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

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

**Statement of the problem.** Of great interest is the study of the influence of the shape of the building area and uneven distribution of heat load on the value of the material characteristics of the heat network. This article is devoted to the study of this issue.

**Results and conclusions.** The paper presents a numerical study of the material characteristics of heat networks depending on their configuration with uneven distribution of heat load. The calculations show that the existing dependences can not reflect reliable information when searching for the material characteristics of the heat network, they need to be clarified or to propose new dependences, taking into account the analysis of available data and statistical dependencies.

**Keywords:** heat supply, design of pipelines, material characteristics of heat networks, heat load distribution.

*Для цитирования: Чуйкина, А. А. Зависимость материальных характеристик тепловой сети от распределения нагрузки / А. А. Чуйкина, А. Р. Бохан, В. В. Покатаева, А. Р. Коломийчук // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. – 2018. – № 3 (12). – С. 16-20.*

*For citation: Chuykina, A. A. The dependence of the material characteristics of the heat network to the load distribution / A. A. Chuykina, A. R. Bohan, V. V. Kataeva, A. R. Kolomiychuk // Gradostroitelstvo. Infrastruktura. Kommunikatsii. – 2018. – № 3 (12). – Pp. 16-20.*

УДК 620.91

## СОЛНЕЧНАЯ ЭНЕРГИЯ КАК АЛЬТЕРНАТИВНЫЙ ИСТОЧНИК ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

И. С. Кадонцева, А. В. Нилова

*Воронежский государственный технический университет*

*И. С. Кадонцева, студент кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела*

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

*А. В. Нилова, студент кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела*

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

**Постановка задачи.** Использование солнечной энергии для теплоснабжения является одним из наиболее перспективных направлений использования возобновляемых источников энергии. Солнечные водонагревательные установки имеют наименьшие сроки окупаемости из всех видов возобновляемых источников энергии (ВИЭ). Они технически несложны и обеспечивают хорошие экологические показатели. Изучению данного вопроса и посвящается данная статья.

**Результаты и выводы.** В работе выполнен обзор уже реализованных, а также планируемых проектов по строительству солнечных электростанций в наиболее благоприятных регионах России. Рассмотрена и представлена информация по поддержке и реализации программ государства в сфере ВИЭ. Анализ источников показал, что использование солнечной энергии является перспективным и актуальным направлением в части сбережения энергетических ресурсов.

**Ключевые слова:** солнечная энергия, возобновляемые источники энергии, солнечные водонагреватели, солнечная энергетика.

**Введение.** Системами солнечного теплоснабжения называются системы, которые используют в качестве источника тепловой энергии солнечную радиацию[1]. К главному их характерному отличию от других систем низкотемпературного отопления можно отнести применение специального элемента – гелиоприемника, предназначенного для улавливания солнечной радиации и впоследствии преобразования ее в тепловую энергию [2-5].

Занимаясь глубинно данным вопросом целесообразно выделить следующие основные причины, побудившие человечество заняться широкомасштабным промышленным освоением возобновляемых источников энергии:

- климатические изменения обусловленные увеличением содержания CO<sub>2</sub> в атмосфере;
- сильная зависимость многих развитых стран, особенно европейских, от импорта топлива;
- ограниченность запасов органического топлива на Земле.

Подписание в декабре 1997 года Киотского протокола большинством развитых стран мира поставило в свою основу ускоренное развитие технологий, способствующих сокращению выбросов углекислого газа в окружающую среду. Основным стимулом для развития этих технологий является не только осознание угрозы изменения климата и связанных с этим экономических потерь, но и тот факт, что введенные квоты на выброс парниковых газов стали товаром, имеющим вполне реальную стоимость.

27 сентября 2015 года на саммите Глобального развития в рамках Генеральной Ассамблеи ООН, глава МИД РФ Сергей Лавров заявил о перевыполнении России своих обязательств по Киотскому протоколу, приводя данные об уменьшении выбросов от энергетического сектора в России за последние 20 лет на 37 %.

Системы солнечного теплоснабжения становятся все более популярными во многих развитых странах мира. Особенно осязаемы успехи солнечной теплоэнергетики в Европе, где ежегодный прирост оборота отрасли продолжает расти, и составляет 20 %.

### **Доля использования солнечной энергии в энергосекторе России и стран мира.**

Суммарная площадь солнечных коллекторов, установленных на текущий момент в европейских странах, составляет порядка 11 млн. м<sup>2</sup>. В последние годы на рынке увеличилась доля специальных систем солнечного теплоснабжения и их технологий. К странам лидерам относятся Германию, Австрию и Грецию. Развитие данного сектора рынка в Европе протекает наряду с созданием компаний по продвижению и внедрению инноваций, финансовым и законодательным регулированием и поддержкой.

Многие страны прибегают к использованию солнечных систем теплоснабжения с целью уменьшения доли импорта ископаемых топлив [3, 4, 6]. Актуальность этой задачи как никогда высока для стран ЕС, где уровень экономики в настоящее время на 50 % зависит от ввозимых энергоресурсов, а к 2021 году зависимость может увеличиться до 70 %, что послужит угрозой экономической независимости этого региона. Удельная площадь солнечных коллекторов к 2005 году составляла в Греции 264 м<sup>2</sup> на 1000 человек, в Австрии – 203 м<sup>2</sup>, а в среднем по странам Европейского сообщества – 26 м<sup>2</sup> на 1000 жителей.

Использование солнечной энергии – одно из самых перспективных и реализуемых направлений возобновляемой энергетики. Последние годы данное направление получило активное и масштабное развитие в России. Почвой для благоприятного развития послужили решения правительства в сфере возобновляемых источников энергетики (ВИЭ) и поддержка производств тонкопленочных солнечных модулей. До 2020 года в нашей стране планируют построить несколько фотоэлектрических станций общей установленной мощностью 1,52 ГВт.

По данным института энергетической стратегии, в теории потенциал солнечной энергетики в России составляет более 2300 млрд. тонн условного топлива, экономический потенциал – 12,5 млн. тонн условного топлива. Потенциал солнечной энергии, поступающей на территорию России в течение трех дней, превышает по объему годовое производства электроэнергии в нашей стране.

Южная Сибирь, Дальний Восток, Северный Кавказ, районы, находящиеся в непосредственной близости к Черному и Каспийскому морям – регионы, наиболее располагающие к установке солнечных электростанций (см. рис.). Многообещающие субъекты РФ в плане применения солнечной энергии – Приморье, Алтай, Бурятия, Астраханская область, Калмыкия, Краснодарский и Ставропольский края. Эти регионы находятся под вниманием государства и являются наиболее перспективными для развития солнечной энергетики.

К примеру, в Астраханской области ввели в эксплуатацию первую в своем роде солнечную электростанцию на 250 кВт. Известно, что проект осуществила ГК «Энергия солнца», планирующая в ближайшие годы запустить в регионе еще несколько солнечных электростанций, установочная мощность которых составит более 90 МВт. Планируемая мощность на 15 % больше уже существующих в регионе СЭС.

Солнечную электростанцию возвели около города Нариманов. Солнечные батареи расположились на площади 5 тыс.м<sup>2</sup>. Они подают электроэнергию на солнечную тепловую станцию, обеспечивающую нужды ГВС 13 тыс. человек. Для сравнения, установочная мощность СЭС в 250 кВт позволит ей обеспечить электроэнергией дом на 100- 150 квартир.

Генерирующая система астраханской электростанции состоит из 1060 солнечных модулей пиковой мощностью по 230 Вт производства AstanaSolar, входящей в группу АО «НАК «Казатомпром» (Казахстан).

Таким образом, Астраханская область по объему чистой выработанной энергии выйдет на уровень Дании и Германии. Эти страны наиболее успешны в использовании ВИЭ. Область находится еще в начале своего пути. В Астраханской области достаточно качественный ресурс для дальнейшего роста и реализации программ по развитию солнечной и созданию ветровой генерации. По данным агентства инвестиционного развития Астраханской области, воплощение в жизнь этих проектов позволит области стать безоговорочным лидером чистой генерации России и прикаспийского региона.

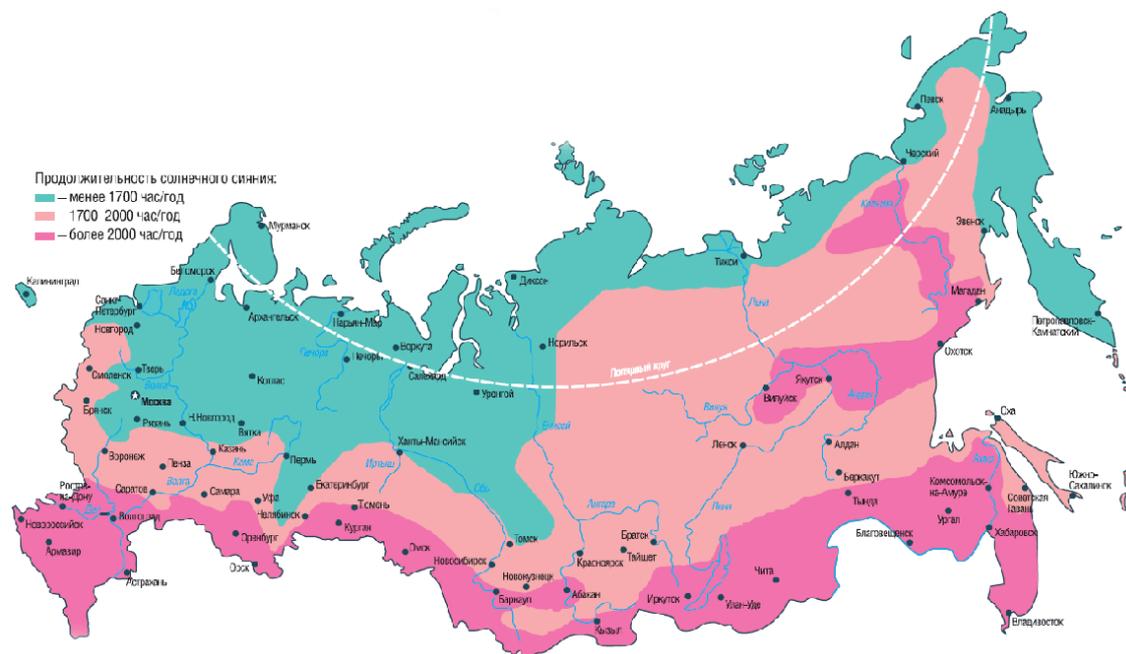


Рис. Зоны эффективности внедрения солнечных панелей в России (2013 г.)

В перспективе планируют создание двух солнечных электростанций в Володарском и Наримановском районах, а также одну в Енотаевском районе Астраханской области. По данным администрации Астраханской области, в строительство этих СЭС планируют инвестировать порядка 10 млрд. рублей.

В декабре 2013 года одна из крупнейших СЭС в России появилась в Дагестане. В настоящее время конкуренцию ей может составить лишь новая станция, введенная в эксплуатацию в Республике Алтай.

Суммарная мощность уже установленных ВИЭ РФ увеличится на 3,9 % или на 2 ГВт – до 53 ГВт к концу 2021 года, как говорится в среднесрочном отчете Международного энергетического агентства (МЭА) по возобновляемым источникам энергии.

Китай крупнейший импортер нефти. Суммарная установленная мощность ВИЭ данной страны за этот же период вырастет на 60 %, или на 305 ГВт – до 807,3 ГВт к концу 2021 году. На Китай к 2021 году придется 28,9 % мировых возобновляемых источников энергии. Так, к примеру, в 2012 году значение колебалось в районе 25,5 %.

Основной рост возобновляемых источников энергии в России будет достигнут за счет ГЭС, прирост мощности которых к концу 2021 года составит более чем 1 ГВт. При этом мощность солнечной генерации в РФ вырастет в семь раз – с 0,1 ГВт до 0,7 ГВт.

Минэнерго России реализует программу по поддержке и развитию ВИЭ с 2013 года. Согласно этой программе запланировано строительство до 2024 года объектов по генерации ВИЭ общей мощностью 5,9 ГВт. Правительству до 2016 года удалось привлечь 306,5 млрд. рублей от частных инвесторов для возведения 120 объектов на основе солнечной энергии, а также ветро- и малой гидрогенерации. Строительство вышеперечисленных объектов инвесторы осуществляют по договорам поставки мощности, то есть возврат инвестиционной составляющей гарантирован, отметили в Минэнерго.

К центральным регионам с большим потенциалом ввода в эксплуатацию ВИЭ относят Краснодарский край и Республику Алтай. На сегодняшний день около 70 % из 150 ГВт установленных действующих солнечных панелей находится в Европе, лидирует при этом Германия.

**Вывод.** По сравнению с 1980 годом стоимость электроэнергии от фотоэлектростанций упала почти в сто раз. Сегодня цена солнечной энергии снизилась до \$0,8 за Вт в таких странах, как Австралия, Германия, Италия и Голландия, в то время как в 2008 году она пре-

вышла \$4. Специалисты считают, что к 2050 году цена солнечной энергии снизится до \$0,3 за ватт на фоне растущих надбавок за выброс парниковых газов, которые налагаются на традиционные виды топлива. А уже к 2025 году солнечная энергетика станет конкурентоспособной и привлекательной для частных инвесторов, пишет британская газета Daily Telegraph.

По данным МЭА, мощности мировой солнечной энергетике после ввода в строй новых станций в Китае и Японии достигнут в будущем году 200 ГВт. Начиная с 2025 года, установленные мощности будут возрастать на 200 ГВт в год. По прогнозам, основанным на расчетах, к 2050 году около 27 % энергии в мире будет вырабатываться именно на солнечных станциях.

#### Библиографический список

1. **Бутузов, В. А.** Солнечное теплоснабжение в России: состояние дел и региональные особенности / В. А. Бутузов // Энергосвет. – 2011. – № 5. – С. 39-82.
2. **Мелькумов, В. Н.** Энергосбережение в системах традиционного и альтернативного теплоснабжения / В. Н. Мелькумов, О. А. Сотникова, В. С. Турбин, Д. Н. Китаев, Р. В. Сорокин // АВОК: Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика. – 2004. – № 2. – С. 62.
3. **Петрикеева, Н. А.** Оптимизация систем теплоснабжения зданий с использованием возобновляемых источников энергии / Н. А. Петрикеева, Л. В. Березкина // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. – 2010. – № 2. – С. 128-132.
4. **Тульская, С. Г.** Индивидуальные солнечные коллекторы / С. Г. Тульская, А. М. Максименко // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. – 2018. – № 2 (11). – С. 22-26.
5. **Мартыненко, Г. Н.** Гибридная солнечная черепица как альтернативный источник энергии / Г. Н. Мартыненко, А. В. Миляева, Е. С. Исаева // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. – 2018. – № 1 (10). – С. 39-43.
6. **Щукина, Т. В.** Комбинированные солнечные модули и надежность систем жизнеобеспечения / Т. В. Щукина, А. К. Тарханов, Д. М. Чудинов // Сантехника, отопление, кондиционирование. – 2014. – № 1 (145). – С. 82-85.

## SOLAR ENERGY AS ALTERNATIVE SOURCE OF HEAT SUPPLY

I. S. Kadontseva, A. V. Nilova

---

*Voronezh State Technical University*

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

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

---

**Statement of the problem.** Utilization of solar power for heating supply is one of the most perspective trends of use of renewable energy source. Solar water heating stations possess the fewest payback period of all kinds of RES. They are technically simple, and they show proper ecological characteristics. The present article is devoted to research of this issue.

**Result and conclusion.** This piece of work contains review of all executed and planned projects on construction of solar power stations in the most opportune areas of Russia. Information about support and execution of national programs in the field of RES is provided as well. Analysis of sources showed that use of solar energy is a promising and applicable trend in the field of energy resources saving.

**Keywords:** solar energy, renewable energy, solar water heaters, solar energy.

*Для цитирования: Кадонцева, И. С.* Солнечная энергия как альтернативный источник теплоснабжения / И. С. Кадонцева, А. В. Нилова // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. – 2018. – № 3 (12). – С. 21- 24.

*For citation: Kadontseva, I. S.* Solar energy as alternative source of heat supply / I. S. Kadontseva, A. V. Nilova // Gradostroitelstvo. Infrastruktura. Kommunikatsii. – 2018. – № 3 (12). – Pp. 21- 24.

## СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ

УДК 624.014

### ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

А. И. Калинина, А. С. Скрыженко, А. Р. Бохан, В. В. Покатаева

*Воронежский государственный технический университет*

*А. И. Калинина, аспирант кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела  
Россия, г. Воронеж, тел.: +7 (473) 271-53-21, e-mail: alina27.03@mail.ru*

*А. С. Скрыженко, студент кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела  
Россия, г. Воронеж, тел.: +7 (473) 271-53-21, e-mail: scryzhenko@yandex.ru*

*А. Р. Бохан, студент кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела  
Россия, г. Воронеж, тел.: +7 (473) 271-53-21, e-mail: bohxanna@yandex.ru*

*В. В. Покатаева, студент кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела  
Россия, г. Воронеж, тел.: +7 (473) 271-53-21, e-mail: .v.pokataeva@mail.ru*

**Постановка задачи.** Проанализировать и выявить основные методы и способы обследования технического состояния металлических и железобетонных конструкций. Изучить цели для проведения обследования.

**Результаты и выводы.** Тема обследования технического состояния строительных конструкций актуальна в наше время. Главным аргументом является то, что с каждым годом увеличивается количество зданий и сооружений, которые несут опасность окружающим людям, в связи с истечением срока эксплуатации или причинами, приводящих их к разрушению и потере надежности, устойчивости и прочности. Эти конструкции нуждаются в усилении и реконструкции, либо в присвоении статуса аварийного состояния, которое и назначается после подробного обследования. В ходе анализа методов, способов и целей обследования были выявленные основные объекты для исследования и рассмотрен пример составления ведомости дефектов и повреждений.

**Ключевые слова:** коррозия, металлические конструкции, дефекты, нагрузки, воздействия, реконструкция здания.

**Введение.** Для надежности и гарантии безопасности дальнейшего эксплуатации здания нужно проводить техническое обследование сооружений.

Техническое обследование строительных конструкций сооружений и зданий включает в себя комплексные исследования и различные расчеты, на основе которых делаются дальнейшие выводы.

Необходимость проведения обследования конструкций зданий определяется следующими факторами [1-5]:

1. Различные техногенные воздействия: аварии, взрывы, пожары, землетрясения, наводнения, ураганы и т.д. Влияние человеческого фактора, близлежащее строительство зданий, прокладка дорог.

2. Изменение нагрузок, обусловленное сменой функционала постройки или проведенной реконструкцией.

3. Изменение конструктивных схем и учет изменяющихся норм проектирования зданий.

4. Отсутствие, проектно технических и исполнительных документов на объект исследования или отклонение от них.

5. Плановая проверка зданий и сооружений для контроля за техническим состоянием.

6. Наличие значительного износа и, связанных с ним повреждений и дефектов.

7. Обнаружение во время технического обслуживания зданий и сооружений значительных деформаций и повреждений не связанных с физическим износом

8. При возобновлении прерванного строительства при выполнении консервации, при отсутствии консервации или по истечению трёхлетнего периода после прекращения строительства.

**1. Обследование и цели его проведения.** Техническое обследование – процесс, включающий в себя контроль, испытание, анализ и оценку строительных конструкций. Проводят его с целью выявления дефектов и целесообразности ремонта и реконструкции зданий и сооружений [6].

Целью проведения обследования строительных конструкций является определение влияния дефектов, которые обнаруживаются, на состояние несущей способности и безопасности эксплуатации в дальнейшем, определение целесообразности ремонта и реконструкции зданий и сооружений или необходимость демонтажа (сноса) здания. В это понятие так же входит разработка мероприятий по усилению конструкций.

До начала обследования проводят предварительный (рекогносцировочный) осмотр объекта, при этом определяют объем, специфику и направленность обследования. Иногда такой осмотр выявляет необходимость проведения специальных исследований. Обследования конструкций и сооружений должны проводить специалисты организаций с соответствующими лицензиями. Оборудованием и аппаратура должны обладать необходимой точностью и соответствовать требованиям стандартов.

Для проведения обследования металлоконструкций необходимо иметь информацию о них, для этого необходимо собрать и проанализировать следующие документы: паспорт на обследуемое здание или сооружение, рабочие чертежи, содержащие схемы проектных нагрузок, расчеты и конструктивные схемы, заводские сертификаты на поставленные стальные конструкции (подтверждающие качество примененных материалов), результаты предыдущих исследований.

В задачи обследования входит:

- установление конструктивной схемы и конструктивных особенностей зданий и сооружений;
- нахождение повреждений, недостатков и дефектов строительных конструкций;
- определение физико-механических характеристик бетонных и железобетонных, каменных, металлических и деревянных конструкций (твердость, влажность, прочность и др.);
- установление объемно-планировочных решений, фактических нагрузок и воздействий, воспринимаемых строительными конструкциями;
- выполнение поверочных расчетов конструкций
- выдача рекомендаций по устранению выявленных повреждений, недостатков и дефектов, так же по дальнейшей эксплуатации.

Обследование металлических конструкций включает обследование сварных швов и соединений, которые могут быть подвержены возникновению коррозии и поэтому их обследование является важной задачей. Оно подразумевает изучение пластичности и прочности всех соединений, наличие трещин. Проводится проверка болтов и заклепок. Особое внимание обращают на повреждения, не плотность, подвижность заклепочных соединений.

При обследовании конструкций покрытий следует обращать внимание на: трещины в стыковых накладках и узловых фасонках поясов ферм; криволинейность поясов и решетки ферм, остаточные прогибы ферм; состояние узлов ферм. Особенно тщательно следует проверять трещины фасонки узлов, к которым примыкают стержни с большими растягивающими

усилиями, а также опорные узлы. Подкрановые конструкции промышленных зданий или сооружений находятся под воздействием напряжений, которые вызывают усталость металла. Поэтому они требуют тщательного обследования, так как остаточные напряжения от сварки, неточности изготовления и монтажа конструкций, перекосы подкрановых путей и колес крана в плане еще более усложняют действительную работу подкрановых конструкций.

Так же проводят лабораторные исследования, направленные на определение следующих показателей: механические свойства, пределы пропорциональности, текучести, упругости временное сопротивление, истинное сопротивление разрыву, относительное удлинение и относительное сужение после разрыва.

Образцы для механических испытаний отбирают с ненагруженных или мало напряженных участков. При помощи химического определяют химический состав стали, структуру, наличие и характер включений и микротрещин.

Далее идет подробное изучение степени износа и прочностных характеристик металла заявленной конструкции. Для того, кроме визуального наблюдения, применяются лабораторные методы изучения образцов.

Описание результатов – на данном этапе после анализа всех данных составляется полный технический отчет об обследовании конструкций здания. Документ составляется как на бумажном, так и на цифровом носителе и содержит полное описание обнаруженных дефектов и негативных факторов, влияющих на прочность и целостность конструкции [4].

**2. Основные методы и способы проведения обследования.** Для проведения технического обследования применяют ряд основных методов:

1. Визуальный метод. Оценку состояния конструкций следует проводить на основе анализа результатов визуальных осмотров, данных по агрессивности среды, измерения степени износа элементов и прогибов их, а в отдельных случаях и металлографических исследований. Их следует выполнять тогда, когда возникает сомнение в правильности применения марки стали для изготовления конструкций. Основанием для этого должны являться небольшие разрушения отдельных элементов, большие местные коррозионные повреждения, в особенности коррозионное растрескивание, межкристалльная коррозия, сквозная коррозия при небольшом среднем уменьшении толщины уголков, наличие трещин в элементах конструкций, накладок.

При визуальном осмотре необходимо проверять:

- общее состояние защитного покрытия;
- присутствие локальных разрушений защитного покрытия;
- общее коррозионное техсостояние конструкции;
- присутствие трещин в основных элементах конструкций (раскосах, поясах, связях, накладках, фланцах и др.);
- существование искривлений, прогибов.
- состояние соединений элементов конструкций;

Таким методом определяется износ и повреждение сварных швов, болтов и заклепок [7-12]. Более подробная проверка проводится при помощи специального оборудования и исследований в лабораториях. Такой род проверки предоставит подробную информацию о прочности конструкции и распространении коррозии по металлу. В частности, лабораторные проверки проводятся с помощью просвечивания конструкции гамма-лучами и дефектоскопией. Все итоги тестов заносятся в ведомость, в которой указывается расположение неисправных участков и виды деформации. При необходимости к документации поврежденных прилагаются фотографии.

2. Вихретоковый метод. Для определения характера дефекта пользуются вихретоковым методом контроля качества соединений. Этот метод основан на исследовании взаимодействия наводимого электромагнитного поля вихревых токов с электромагнитным полем обследуемого объекта.

Данный метод позволяет судить о химическом составе и размере изделия, о материале, из которого объект изготовлен, его структуре, и выявить дефекты, находящиеся или в подповерхностном слое (на глубине 2 – 3 мм), или на поверхности. Чаще всего в этом методе используют прибор вихретоковый дефектоскоп. Принцип его действия: катушка индуктивности вызывает вихревые токи в объекте контроля, которые записывают приемные измерители (та же самая или другая катушка). Интенсивность распределения токов в исследуемом объекте позволяет судить о свойствах материала и размерах интересующей конструкции.

3. Магнитно-порошковый метод. Использование магнитно-порошкового метода дает нам возможность удостовериться в наличии дефекта, вследствие магнитного рассеяния над дефектом при намагничивании проверяемого материала.

Для того, чтобы провести контроль магнитно-порошковым методом, готовят сначала поверхность исследуемого объекта, намагничивают ее и подвергают обработке магнитным взвесью. Металлические частицы в неоднородном электромагнитном поле над дефектом притягиваются друг к другу, из-за чего образуются цепочные структуры, которые легко увидеть при осмотре конструкции.

4. Ультразвуковой метод. Ультразвуковой метод исследования базируется на регистрации отраженной волны от планируемого повреждения для того, чтобы определить его координат.

В этом методе используют ультразвуковой дефектоскоп. Его применение охватывает широкую область. Методы контроля подразделяются на активные и пассивные. В первом случае рассматриваются волны, которые образуются непосредственно в самой конструкции, тогда по виброшуму работающего устройства говорят о его исправностях. К пассивным исследованиям относятся методы, опирающиеся на измерения интенсивности отражаемого или пропускаемого конструкции акустического сигнала.

Эти методы контроля используют для выявления и внутренних, и внешних дефектов. С помощью данных приемов можно определять геометрические параметры, когда доступ к изделию затруднен.

**3. Этапы проведения обследования.** Обследование строительных конструкций зданий и сооружений проводится в 3 стадии, связанные между собой:

- подготовка к проведению обследования;
- промежуточное обследование (визуальное);
- подробное обследование (инструментальное).

Последовательность действий и состав работ на каждом этапе включают:

1. Подготовительные работы:

- изучение объекта исследования, его объемно-планировочного и конструктивного решения материалами инженерно-геологических изысканий;
- исследование и подбор проектно-технической документации;
- составление списка работ (если необходимо) на основе полученного от заказчика технического задания. Техзадание разрабатывается заказчиком или проектной организацией. Оно утверждается заказчиком, согласовывается исполнителем и, если есть такая необходимость, проектной организацией, т.е. разработчиком проекта задания.

2. Предварительное обследование (визуальное):

- сплошное зрительное обследование конструкций для того, чтобы выявить дефекты и повреждения по внешним признакам с обязательными замерами и фиксацией.

3. Детальное обследование (инструментальное):

- работы по замерам и обмерам требующихся параметров конструкций с применением геодезических приборов;
- определение практических прочностных характеристик материалов основных несущих конструкций и их элементов;
- инструментальное диагностирование параметров неисправностей и повреждений;

- определение параметров эксплуатационной среды, присущей технологичному процессу в зданиях и сооружениях;
- определение действительной расчетной схемы здания и его отдельных конструкций;
- распознавание реальных эксплуатационных нагрузок и воздействий, которые воспринимают исследуемые конструкции с учетом влияния деформаций грунтового основания;
- исследование расчетных усилий в несущих конструкциях, воспринимающих эксплуатационные нагрузки;
- расчет несущей способности конструкций в итоге обследования;
- анализ причин появления повреждений, дефектов и недостатков;
- камеральная обработка и анализ итогов обследования и поверочных расчетов;
- формирование итогового документа с выводами по результатам обследования;
- подготовка рекомендаций по устранению выявленных повреждений, дефектов и недостатков.

**4. Обработка результатов обследования.** По окончании обследования строительных конструкций полученные результаты обрабатываются следующим образом:

1. Составляются схемы, ведомости, где фиксируются деформации здания, сооружения с указанием их характерных особенностей (прогибы, крены, разломы перекосы и т.п.).
2. Анализируются причины появления деформаций в бетоне, конструкциях.
3. По результатам обследования рассчитывается несущая способность конструкции, который покажет реальное состояние объекта и вероятность его безаварийной эксплуатации в дальнейшем. В лаборатории испытываются образцы материалов, взятых из конструкций сооружений, зданий, на основании чего составляется протокол испытаний.

В ведомость дефектов и повреждений, выявленных при проведении обследования строительных конструкций, на примере входят:

1. Наименование вида соединения или расположение элементов;
2. Схема (фото) дефекта (повреждения);
3. Характеристика дефекта или повреждения (тип, размеры);
4. Рекомендации по устранению дефектов;

Ведомость дефектов составлена на примере обследования конструкций заброшенного недостроенного сахарного завода «Хреновская нива», который расположен в Воронежской области, село Хреновое (см. табл. ).

Объект представляет собой два недостроенных производственных здания и административный корпус. Первые этажи производственных помещений зарастают кустарниками, на втором этаже можно найти остатки оборудования, которые монтировали во время строительства сахарного завода.

При техническом обследовании конструкций здания, объектами исследования могут быть:

- несущие и самонесущие вертикальные конструкции: колонны, стены, фахверковые стойки и ригели;
- горизонтальные и вертикальные связи: порталные и крестовые;
- подземные элементы здания и конструкции: ленточные, свайные и стаканного типа фундаменты, фундаментные балки, грунт основания;
- элементы покрытия и перекрытия: плиты, балки, прогоны, подстропильные и стропильные фермы;
- дополнительные и вспомогательные сооружения: этажерки, эстакады, фонарные блоки, галереи, лифтовые конструкции, подкрановые балки, перегородки;
- в отдельных случаях: обследование узлов и стыков конструкций между собой.

Таблица

Ведомость дефектов и повреждений, выявленных при проведении  
обследования строительных конструкций

| № п/п | Наименование вида соединения                  | Схема (фото) дефекта (повреждения)                                                  | Характеристика дефекта или повреждения (тип, размеры)                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Рекомендации по устранению дефектов                                                                                                                |
|-------|-----------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1.    | Узел крепления основания колонны и фундамента |    | <b>Отслоение лакокрасочного защитного покрытия. Растрескивание, сколы бетонной подушки.</b><br><i>Причина:</i> старение и износ материала, атмосферные воздействия.<br><i>Возможные последствия:</i> снижение несущей способности, разрушение бетонной подушки, увлажнение, переувлажнение конструкции, коррозия арматуры внутри фундамента | Восстановить целостность бетонной подушки бетоном марки М20. Выполнить лакокрасочную защиту опорной колонны фундамента гидроизоляционным покрытием |
| 2.    | Узел крепления основания колонны и фундамента |   | <b>Поверхностная коррозия опорной части колонны и закладных элементов.</b><br><i>Причина:</i> атмосферные воздействия, старение и износ материала.<br><i>Возможные последствия:</i> коррозия металла, снижение несущей способности                                                                                                          | Выполнить антикоррозионную защиту                                                                                                                  |
| 3.    | Узел крепления связей                         |  | <b>Ненормативное соединение элементов вертикальной связи.</b><br><i>Причина:</i> ошибки при монтаже.<br><i>Возможные последствия:</i> деформация фасонного элемента, недостаточность длины сварных швов, снижение несущей способности                                                                                                       | Заменить элемент сопряжения связей с достаточной площадью, либо развернуть связь путем ее демонтажа и монтажа                                      |
| 4.    | Площадка                                      |  | <b>Захламление рабочих площадок, деформации и обрывы покрытия площадки.</b><br><i>Причина:</i> атмосферные воздействия, старение и износ материала, механические повреждения.<br><i>Возможные последствия:</i> травматизм персонала, нарушение требований эксплуатации                                                                      | Выполнить уборку площадок от строительного и производственного мусора, выполнить замену и ремонт поврежденных участков настила                     |

Окончание таблицы

|    |                                |                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                      |
|----|--------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 5. | Узел крепления связей с балкой |  | <p><b>Отсутствие фасонного элемента. Отслоение, шелушение антикоррозионного покрытия стальных элементов и сварных соединений. Поверхностная коррозия.</b><br/> <i>Причина:</i> старение и износ материала, атмосферные воздействия.<br/> <i>Возможные последствия:</i> коррозия металла, обрывы сварных соединений, снижение несущей способности</p> | <p>Приварить элемент траверсы колонны. Выполнить антикоррозионную защиту, предварительно очистив элементы от старого слабопрочного покрытия и продуктов коррозии</p> |
| 6. | Лестница на отм. +2.00м        |  | <p><b>Сквозная язвенная коррозия стоек перил лестницы.</b><br/> <i>Причина:</i> атмосферные воздействия, старение и износ материала, механическое повреждение.<br/> <i>Возможные последствия:</i> коррозия металла, обрывы сварных соединений, снижение несущей способности, травматизм персонала</p>                                                | <p>Заменить поврежденные элементы</p>                                                                                                                                |

**Выводы.** После проведения технического обследования составляется техническое заключение с выводами специалистов. Техническое заключение представляет собой отчет, который отражает техническое состояние строительных конструкций здания. Заключение специалистов по итогам обследования, как правило, содержит разделы:

- 1) оценочное мнение по техническому состоянию конструкций, определяемое степенью их повреждений, особенностями выявленных дефектов;
- 2) дефектные ведомости, таблицы, описания, результаты инструментальных и лабораторных испытаний образцов, взятых при обследовании;
- 3) новый технический паспорт или уточнённый старый документ на здание, сооружение;
- 4) заключения о вероятных причинах возникновения повреждений в конструкциях из бетона, железобетона (если они обнаружены);
- 5) выводы о возможности эксплуатировать здание, сооружение дальше;
- 6) рекомендации по устранению дефектов (если это возможно) в нескольких вариантах (восстановление, усиление конструкций).

#### Библиографический список

1. **Гурьева, В. А.** Организационно-технологические вопросы при строительстве и реконструкции зданий и сооружений: учебное пособие / В. А. Гурьева, Е. В. Кузнецова, Р. Г. Касимов. – Оренбургский гос. ун-т. – Оренбург : ОГУ, 2014. – 270 с.
2. **Федосенко, Ю. К.** Вихретоковый контроль: учебное пособие / Ю. К. Федосенко, П. Н. Шкатов, А. Г. Ефимов – под общ. ред. В. В. Клюева. – Российское и-во по неразрушающему контролю и технической диагностике (РОНКТД) – Москва: Спектр. – 2014 – 223 с.
3. **Гроздов, В. Т.** Техническое обследование строительных конструкций зданий и сооружений: учебное пособие / В. Т. Гроздов. – СПб, – Издательский Дом KN+. – 2000 – 140 с.
4. **Ермолов, И. Н.** Теория и практика ультразвукового контроля: учебное пособие / И. Н. Ермолов. – М.: Машиностроение, 1981. – 240 с.
5. **Клюева, Н. В.** Методика экспериментальных исследований прочности и трещиностойкости по наклонным сечениям нагруженных и коррозионно поврежденных железобетонных составных конструкций / Н. В.

Клюева, Д. В. Карпенко, А. А. Кашацев // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. – 2015. – № 5. – С. 77-80.

6. **Соболев, Ю. В.** Определение напряженно-деформированного состояния стенки с геометрическими дефектами в области монтажного стыка численными методами / Ю. В. Соболев, А. А. Василькин, А. Д. Колосков // Промышленное и гражданское строительство. – 2005. – № 12. – С. 44-45.

7. **Туменова, И. М.** Параметрическая оптимизация трапециевидной деревянной фермы с восходящими-раскосами на металлических зубчатых пластинах / И. М. Туменова // Инженерный вестник Дона. – 2017. – Т. 45, № 2 (45). – С. 131.

8. **Абдуллаев, Г. И.** Основные направления повышения надежности строительных процессов / Г. И. Абдуллаев // Инженерно-строительный журнал. – 2010. – № 4. – С. 59-60.

9. **Шапиро, Д. М.** Деформационный нелинейный расчет изгибаемых железобетонных балок в составе плитно-ребристых систем / Д. М. Шапиро, А. П. Тютин // Бетон и железобетон. – 2011. – № 6. – С. 19-23.

10. **Гришанович, А. И.** Исследование коррозионных процессов металлических конструкций / А. И. Гришанович, Я. С. Татаринцов // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. – 2017. – № 3 (8). – С. 46-51.

11. **Гришанович, А. И.** Варианты применения уникальных конструкций покрытия для большепролетных спортивных сооружений / А. И. Гришанович // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. – 2016. – № 2 (3). – С. 45-51.

12. **Гришанович, А. И.** Особенности проектирования и возведения уникальных конструкций покрытия для большепролетных спортивных сооружений / А. И. Гришанович // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. – 2017. – № 1 (6). – С. 60-68.

## TECHNICAL SURVEY OF BUILDING STRUCTURES OF BUILDINGS AND STRUCTURES

A. I. Kalinina, A. S. Scryzhenko, A. R. Bokhan, V. V. Pokataev

---

*Voronezh State Technical University*

*A. I. Kalinina, graduate of the Department of Heat and Gas Supply and Oil and Gas Business  
Russia, Voronezh, tel.: +7 (473) 271-53-21, e-mail: alina27.03@mail.ru*

*A. S. Scryzhenko, student of the Department of Heat and Gas Supply and Oil and Gas Business  
Russia, Voronezh, tel.: +7 (473) 271-53-21, e-mail: scryzhenko@yandex.ru*

*A. R. Bohan, student of the Department of Heat and Gas Supply and Oil and Gas Business  
Russia, Voronezh, tel.: +7 (473) 271-53-21, e-mail: boxxanna@yandex.ru*

*V. V. Pokataeva, student of the Department of Heat and Gas Supply and Oil and Gas Business  
Russia, Voronezh, tel.: +7 (473) 271-53-21, e-mail: v.pokataeva@mail.ru*

---

**Statement of the problem.** To analyze and identify the main methods and techniques of inspection of the technical condition of metal and reinforced concrete structures. Examine the objectives for the survey.

**Results and conclusions.** Theme inspection of the technical condition of building structures is relevant nowadays. The main argument is that every year the number of buildings and structures that pose a danger to people around them increases, due to the expiration of the service life or other reasons that lead to their destruction and loss of reliability, stability and strength. These designs need strengthening and reconstruction, or assignment of the status of an emergency condition which is appointed after detailed inspection. The analysis of methods, methods and purposes of the survey revealed the main objects for the study and considered an example of drawing up a list of defects and damages.

**Keywords:** corrosion, metal structures, defects, loads, impacts, reconstruction of the building.

*Для цитирования: Калинина, А. И.* Техническое обследование строительных конструкций зданий и сооружений / А. И. Калинина, А. С. Крыженко, А. Р. Бохан, В. В. Покатаева // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. – 2018. – № 3 (12). – С. 25- 32.

*For citation: Kalinina, A. I.* Technical survey of building structures of buildings and structures/ A. I. Kalinina, A. S. Scryzhenko, A. R. Bokhan, V. V. Pokataev // Gradostroitelstvo. Infrastruktura. Kommunikatsii. – 2018. – № 3 (12). – Pp. 25- 32.

## СТРОИТЕЛЬСТВО И ЭКСПЛУАТАЦИЯ НЕФТЕГАЗОПРОВОДОВ, БАЗ И ХРАНИЛИЩ

УДК 665.7.035.6

### ОЦЕНКА ЗАВИСИМОСТИ ПОЛНОГО КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ ОТ ПЛОТНОСТИ И ВЯЗКОСТИ НЕФТИ

С. Н. Кузнецов, К. С. Дуванов

*Воронежский государственный технический университет*

*С. Н. Кузнецов, д-р техн. наук, проф. кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела*

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

*К. С. Дуванов, магистрант кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела*

*Россия, г. Воронеж, тел.: +7 (920) 440-49-70, e-mail: Duvanov\_k@mail.ru*

**Постановка задачи.** Для определения наиболее рационального и экономически выгодного метода перекачки высоковязких и высокопарафинистых нефтей необходимо провести тепловой расчет для всего участка трубопровода.

**Результаты исследования.** В данной статье производится рассмотрение определении зависимости изменения полного коэффициента теплопередачи от изменения вязкости и плотности нефти горячего нефтепровода. Для нефтеперекачивающих предприятий принципиально важным оказывается определение полного коэффициента теплопередачи, который позволяет определить потери тепла от нефти к стенке трубопровода и произвести дальнейший тепловой расчет по выбору рационального способа подогрева транспортируемой нефти. Достоверность полученных результатов обеспечена применением в исследованиях научно обоснованных методик и сопоставимостью полученных результатов с ранее выполненными исследованиями других авторов.

**Выводы.** Для того что бы добиться наименьших экономических затрат и получения наибольшей выгоды, необходимо постоянно контролировать перекачиваемую среду и использовать методы для улучшения реологических свойств нефти, такие как подогрев, ввод в среду активных веществ, смешивание более легких нефтей с тяжелыми.

**Ключевые слова:** внутренний коэффициент теплопередачи, вязкость и плотности нефти, полный коэффициент теплопередачи, режим перекачки нефти, высоковязкие нефти, горячие нефтепроводы.

**Введение.** В настоящее время добывается значительное количество высоковязких и высокопарафинистых нефтей, застывающих при относительно высоких температурах. Перекачка таких нефтей обычным способом нерациональна, так как при температуре окружающей среды велико гидравлическое сопротивление трубопроводов. Снижение гидравлического сопротивления трубопроводов обеспечивается различными способами повышения текучести нефтей: смешивание вязких и застывающих нефтей и нефтепродуктов с маловязкими и совместная их перекачка, смешивание и перекачка с водой, а также термическая обработка застывающих парафинистых нефтей.

В процессе эксплуатации нефтепроводов результаты теплового расчета используют для оперативного диспетчерского управления работой трубопровода: нахождения безопасного времени остановки горячей перекачки высоковязких нефтей, выбора способа выталкивания застывшей нефти из остановленного трубопровода, оценки оптимального варианта пуска го-

рячего нефтепровода в эксплуатацию, определения безопасного времени отключения тепловых станций.

**1. Теоретическая часть.** Гидравлический режим горячих нефтепроводов в значительной степени определяется условиями его теплообмена с окружающей средой. С увеличением температуры транспортируемой нефти снижается ее вязкость и уменьшается потеря напора. При понижении температуры наблюдается обратная картина. Температурный режим нефтепровода зависит от пропускной способности, условий передачи тепла от нефти в окружающую среду и других факторов. Используя зависимость изменения температуры нефти, а, следовательно, и ее вязкости по длине трубопровода, можно найти распределение давления по длине нефтепровода, транспортирующего высоковязкие нефти в подогретом состоянии, и оценить потери напора на ее перекачку.

Цель теплового расчета при проектировании магистральных трубопроводов – определить распределение температур по его длине и оценить тепловые потери. С учетом данных теплового расчета определяют пропускную способность трубопровода, шаг насосных (тепловых) станций, рассчитывают трубопровод на прочность и устойчивость, выбирают тип и толщину теплоизоляции.

Основной задачей теплового расчета нефтепровода является определение полного коэффициента теплопередачи  $K$ , он определяется из уравнения:

$$\frac{1}{K \cdot D} = \frac{1}{\alpha_1 \cdot D} + \sum_i^n = 1 \frac{1}{2\lambda_i} \cdot \ln \frac{D_{i+1}}{D_i} + \frac{1}{\alpha_2 D_{uz}}, \quad (1)$$

где –  $\lambda_i$ ,  $D_i$ ,  $D_{i+1}$  коэффициент теплопроводности, внутренний и наружный диаметры  $i$ -го слоя (отложений, трубы, изоляции);  $\alpha_1$  – внутренний коэффициент теплоотдачи, характеризующий теплоперенос от нефти к внутренней поверхности отложений;  $\alpha_2$  – внешний коэффициент теплоотдачи, характеризующий теплоперенос от внешней поверхности изоляции в окружающую среду;  $D_{uz}$  – наружный диаметр изоляции.

Внутренний коэффициент теплоотдачи определяется по формуле:

$$\alpha_1 = \frac{\lambda_n}{D} \cdot Nu, \quad (2)$$

где  $\lambda_n$  – коэффициент теплопроводности нефти.

Величина числа Нуссельта  $Nu$  определяется по эмпирическим формулам в зависимости от режима перекачки, например, по Михееву:

при турбулентном режиме ( $Re > 10000$ )

$$Nu = 0.21 Re^{0.8} \cdot Pr^{0.43} \cdot \left( \frac{Pr}{Pr_w} \right)^{0.25}, \quad (3)$$

где  $Re$ ,  $Pr$  – числа соответственно Рейнольдса и Прандтля:

$$Re = \frac{wD}{\nu}, \quad (4)$$

$$\text{Pr} = \frac{\nu \rho c_p}{\lambda_n}, \quad (5)$$

где  $\beta_t$  – коэффициент температурного расширения нефти;  $T_w$  – средняя температура стенки трубопровода.

В переходной области  $2000 < Re < 10000$  величина коэффициента  $\alpha_1$  определяется интерполяцией.

Внешний коэффициент теплоотдачи определяется по формуле Аронса-Кутателадзе:

$$\alpha_2 = \frac{2\lambda_{сп}}{D_{из} \cdot \ln\left(\frac{4H_n}{D_{из}} + \frac{1}{Nu_0}\right)}, \quad (6)$$

где  $H$  – фактическая глубина его заложения;  $H_{сн}$  – высота снежного покрова;  $\lambda_{гр}$ ,  $\lambda_{сн}$  – коэффициент теплопроводности соответственно грунта и снега;  $Nu_0$  – число Нуссельта при теплоотдаче в воздух,  $Nu_0 = \frac{\alpha_0 \cdot H}{\lambda}$ ;  $\alpha_0$  – коэффициент теплоотдачи от поверхности грунта в воздух,  $\alpha_0 \approx 11,63$  Вт/(м·рад).

При  $H/D > 2$  величиной  $1/Nu_0$  в выражении можно пренебречь. Данное равенство выполняется в случае, когда  $D_{из} > 600$  мм. Для трубопроводов без специальной тепловой изоляции, прокладываемых в грунтах малой влажности, при турбулентном режиме течения с малой погрешностью можно принять  $K = \alpha_2$ .

Из вышеприведенных формул видно, что при проектировании горячих трубопроводов дополнительно надо располагать данными о коэффициенте теплопроводности грунта, а также о теплоемкости и коэффициенте теплопроводности нефти.

**2. Расчетная часть.** Для того чтобы наглядно представлять как происходит изменение полного коэффициента теплопередачи  $K$  от изменения свойств и режима течения нефти, нужно провести расчеты и построить графики их зависимостей.

Примем за начальные условия трубопровод длиной 10 000 м, наружным диаметром  $D_n = 219$  мм, толщиной стенки  $\delta = 8$  мм и начальной температурой нефти  $T_n = 353$  К. Трубопровод подземный, глубина залегания 1,5 м от оси прокладки. Трубопровод не имеет изоляционного слоя. Грунт песчаный. Температура окружающей среды 273 К. Начальное давление на входе в трубопровод 3 МПа.

Тепловой расчет проводился для нескольких нефтей с различными свойствами из разных месторождений: Ромашкинское, Лянторское, Мамонтовское и Самотлорское. Основные свойства, которые представлены в таблице 1.

Таблица 1

## Свойства нефти

| Месторождение | Вязкость, $\nu_{283}$ сСт | Плотность, $\rho$ (кг/м <sup>3</sup> ) |
|---------------|---------------------------|----------------------------------------|
| Туймазенское  | 2,23                      | 833                                    |
| Яринское      | 4,31                      | 854                                    |
| Самотлорское  | 6,8                       | 887                                    |
| Мухановское   | 7,1                       | 895                                    |

Для определения полного коэффициента теплопередачи  $K$ , необходимо получить данные о внутреннем коэффициенте теплопередачи  $\alpha_1$ , который находится из уравнения (2) и зависит от коэффициента теплопроводности нефти  $\lambda$ , внутреннего диаметра трубопровода  $D$  и величины числа Нуссельта ( $Nu$ ).

Так же необходимой величиной для расчетов является коэффициент теплопроводности нефти, который определяется опытным путем или берется из справочных таблиц. Данные теплопроводности нефти по месторождениям представлены в таблице 2.

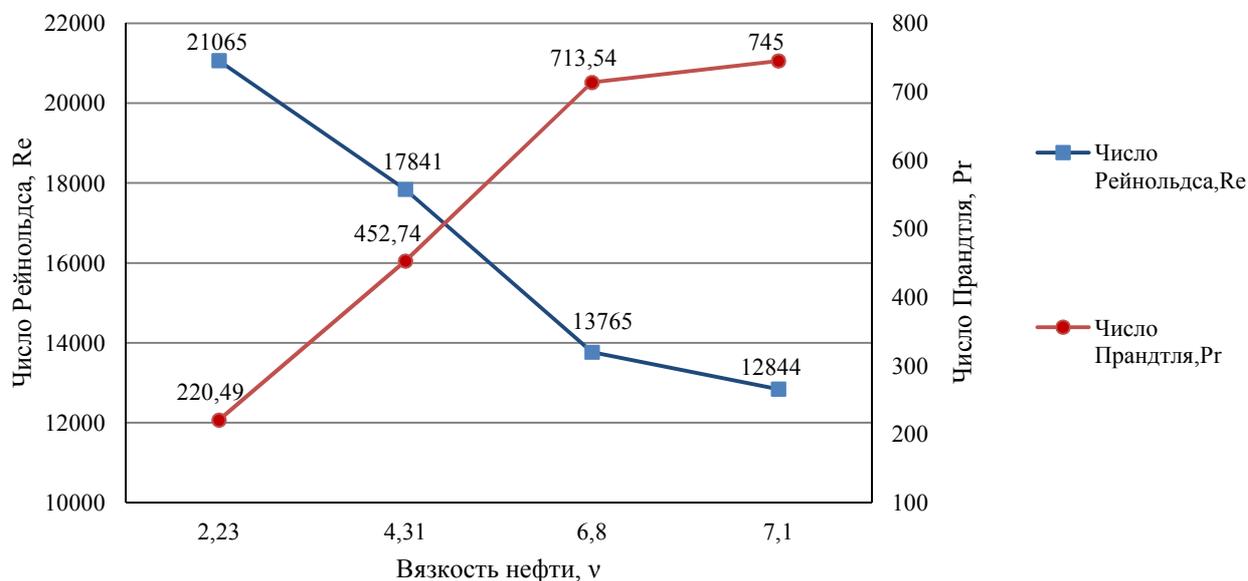
Таблица 2

Теплопроводность нефти некоторых месторождений

| Месторождение | Теплопроводность, $\lambda$ Вт(м/К) |
|---------------|-------------------------------------|
| Туймазенское  | 0,119                               |
| Яринское      | 0,125                               |
| Самотлорское  | 0,132                               |
| Мухановское   | 0,141                               |

Определение внутреннего коэффициента теплопередачи  $\alpha_1$  необходимо начинать с определения чисел Рейнольдса и Прандтля.

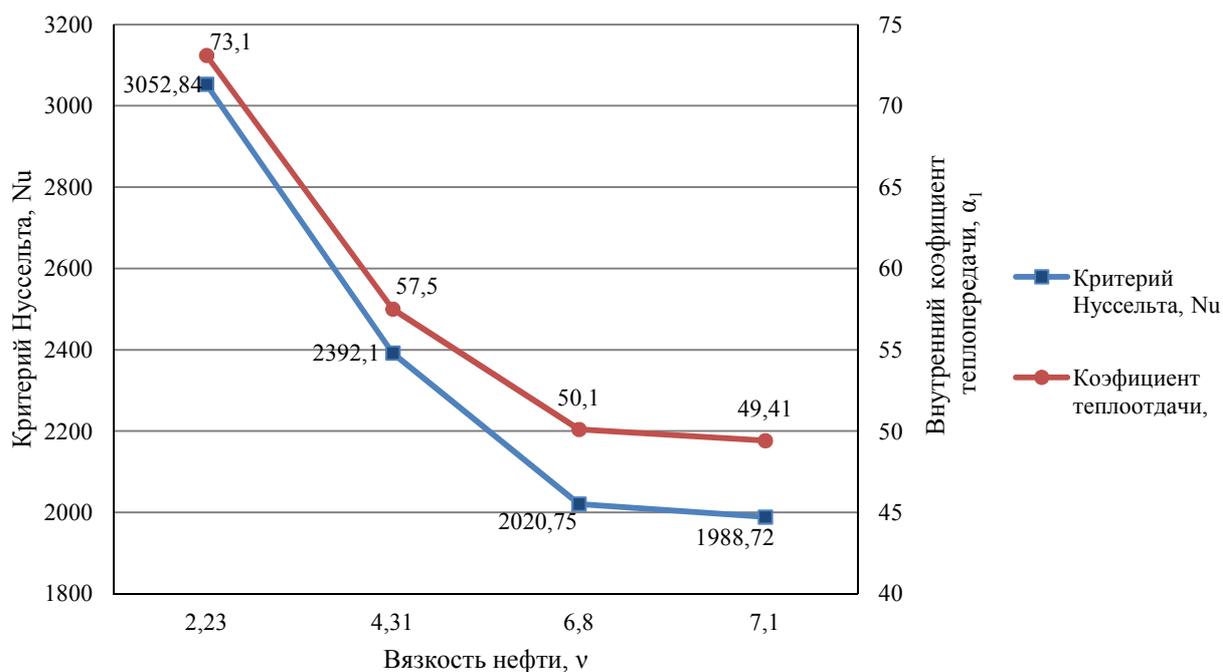
Используя расчет по уравнениям (4) и (5) на рисунке 1 представим зависимость чисел Рейнольдса и Прандтля от вязкости нефти различных месторождений, которая найдена.

Рис.1. График зависимости чисел Рейнольдса ( $Re$ ) и Прандтля ( $Pr$ ) от вязкости нефти  $\nu$ 

На графике зависимости чисел Рейнольдса ( $Re$ ) и Прандтля ( $Pr$ ) от вязкости  $\nu$  наблюдается, что с увеличением вязкости нефти число Прандтля увеличивается. Такая зависимость объясняется уравнением (5), в котором вязкость и плотность нефти находятся в числителе, а, следовательно, с их увеличением растет значение числа Прандтля. Однако, при увеличении

вязкости нефти, число Рейнольдса снижается в диапазоне чисел от 21065 до 12844, что коррелирует с уравнением (4), где число Рейнольдса обратно пропорционально вязкости нефти. Данный коэффициент объясняет режимы течения нефти. В нашем случае нефть протекает в турбулентном режиме, однако при вязкости равной 7,1 сСт число Рейнольдса близко к переходному режиму.

Число Нуссельта и внутренний коэффициент теплоотдачи рассчитываем с учетом коэффициентов Рейнольдса ( $Re$ ) и Прандтля ( $Pr$ ) используя формулы (3) и (2). Полученный результат представлен на рисунке 2.



**Рис.2.** График зависимостей числа Нуссельта и внутреннего коэффициента теплоотдачи от вязкости нефти

В этом случае наблюдается следующая зависимость: с увеличением вязкости коэффициент внутренней теплопередачи падает и полученные данные зависят как от изменения числа Рейнольдса, то есть режима течения нефти, так и от числа Прандтля. Это свидетельствует о том, что чем больше режим течения высоковязкой нефти приближен к ламинарному, тем меньше коэффициент внутренней теплопередачи. Данные зависимости прослеживаются в уравнении (2), где коэффициент теплопередачи  $\alpha_1$  прямо пропорционален изменению критерию Нуссельта ( $Nu$ ).

Для определения полного коэффициента теплопередачи необходимо знать внешний коэффициент теплопередачи  $\alpha_2$ , который рассчитывается из уравнения (6). Данный коэффициент не зависит от перекачиваемой среды – он зависит от глубины заложения трубопровода и среды, в которой расположен трубопровод. При теплопроводности грунта  $\lambda_{гр} = 0,86$  Вт/(мК) получили внешний коэффициент теплопередачи  $\alpha_2 = 12,58$  Вт/(м<sup>2</sup>·К).

Используя уравнение (1) строим график зависимости полных тепловых потерь от вязкости нефти (рис.3) с учетом коэффициента теплопроводности  $\lambda_i$ , внутреннего и наружного диаметра  $i$ -го слоя  $D_i, D_{i+1}$ , внутреннего коэффициента теплоотдачи  $\alpha_1$  и внешнего коэффициента теплоотдачи  $\alpha_2$ .

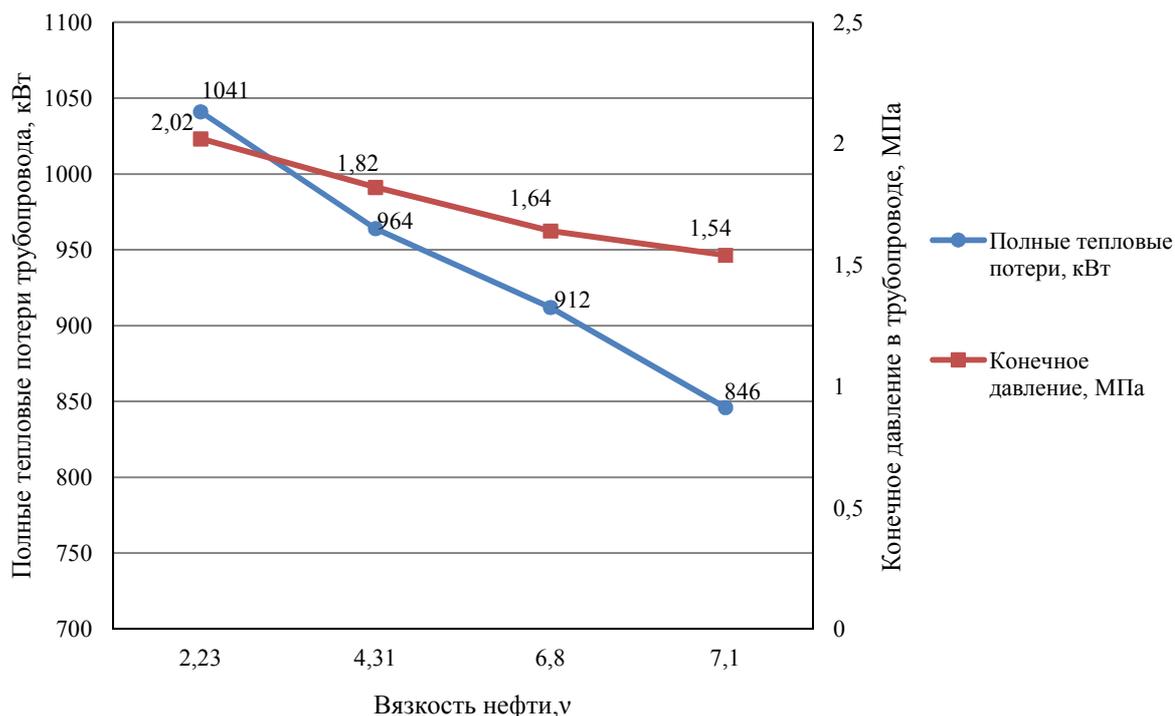


Рис. 3. График зависимостей полной теплоотдачи кВт и конечного давления от вязкости  $\nu$

График зависимости полных тепловых потерь от вязкости  $\nu$  доказывает, что коэффициент теплопередачи тем больше, чем меньше вязкость и плотность нефти. Это обусловлено тем, что менее вязкие нефти перекачиваются в турбулентном режиме и имеют большее число Рейнольдса ( $Re$ ). При больших числах  $Re$  и при малых вязкостях нефти происходит быстрое перемешивание слоев. Температура нефти в таком случае более равномерно распределена по сечению трубопровода. В околостенной зоне теплообмен ускоряется за счет уменьшения ламинарного слоя, поэтому уравнение теплопередачи позволяет судить о том, что коэффициент полного теплообмена  $K$  прямо зависит вязкости и, как следствие, от режима течения нефти. Стоит отметить, что коэффициент полной теплопередачи имеет прямую зависимость от вязкости и плотности нефти.

Так же важнейшим параметром трубопровода является его конечное давление. С увеличением вязкости нефти происходит значительное падение давления на участке трубопровода, что обусловлено гидравлическими потерями трубопровода на трение. С увеличением вязкости трение увеличивается и, как следствие, растут гидравлические потери.

По полученным данным можно судить и том, что перекачка менее вязких нефтей является более экономически выгодной, так как для этого необходимо затрачивать меньше энергии на преодоление гидравлических сопротивлений.

**Выводы.** Таким образом, вязкость и плотность нефти напрямую влияют на тепловые потери нефтепровода и на всю его работу в целом, а изменение их свойств может привести к серьезным последствиям. Для того чтобы добиться наименьших экономических затрат и получения наибольшей выгоды, необходимо постоянно контролировать перекачиваемую среду и использовать методы для улучшения реологических свойств нефти, такие как подогрев, ввод в среду активных веществ, смешивание более легких нефтей с тяжелыми.

## Библиографический список

1. **Тигунов, П. И.** Типовые расчеты при проектировании и эксплуатации нефтебаз и нефтепроводов. Учебное пособие для ВУЗов / П. И. Тигунов, В. Ф. Новосёлов, А. А. Коршак, А. М. Шаммазов. – Уфа: ООО «ДизайнПолиграфСервис», 2002. – 658 с.
2. **Коршак, А. А.** Проектирование и эксплуатация газонефтепроводов: учебник для вузов / А. А. Коршак, А. М. Нечваль; под ред. А. А. Коршака. – СПб.: Недра, 2008. – 488 с.
3. **Алиев, Р. А.** Трубопроводный транспорт нефти и газа: учебник для вузов / Р. А. Алиев, В. Д. Белоусов, А. Г. Немудров и др. – М.: Недра, 1988. – 368 с.
4. **Кузнецова, Г. А.** Мониторинг надежности распределительных инженерных сетей / Г. А. Кузнецова, И. В. Личковаха, Е. В. Мамонтов // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. – 2012. – № 2 (7). – С. 14-20.
5. **Васильев, И. Е.** Влияние вязкости перекачиваемой среды на характеристики магистральных нефтяных насосов / И. Е. Васильев, Д. Н. Китаев, Е. П. Коротких, Т. О. Маслова // Молодой ученый. – 2017. – № 9 (143). – С. 42-45.
6. **Мелькумов, В. Н.** Определение коэффициента теплоотдачи ледовой поверхности для смешанной схемы воздухораспределения / В. Н. Мелькумов, А. В. Лобода, С. В. Чуйкин // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. – 2013. – № 1 (29). – С. 24-31.
7. **Колосов, А. И.** Математическая модель потокораспределения при изотермическом течении вязкого газа / А. И. Колосов, М. Я. Панов, К. В. Зубарев, А. А. Свиридов // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. – 2015. – № 4 (40). – С. 34-41.

## THE ESTIMATION OF THE DEPENDENCE OF INTERNAL HEAT TRANSFER COEFFICIENT THE DENSITY AND VISCOSITY OF OIL

S. N. Kuznetsov, K. S. Duvanov

---

*Voronezh State Technical University*

*S. N. Kuznetsov, D. Sc. in Engineering, Prof. of the Dept. of Heat and Gas Supply and Oil and Gas Business  
Russia, Voronezh, tel.: +7 (473) 271-53-21, e-mail: Kuznetvrn@mail.ru*

*K. S. Duvanov, master of the Department of Heat and Gas Supply and Oil and Gas Business  
Russia, Voronezh, tel.: +7 (920) 440-49-70, e-mail: Duvanov\_k@mail.ru*

---

**Statement of the problem.** In order to determine the most efficient and cost-effective method for pumping high viscosity and high-paraffin oils, it is necessary to carry out heat calculation for the entire pipeline section.

**Results.** This article considers the determination of the dependence of the change in the internal heat transfer coefficient on the change in the viscosity and density of hot oil pipeline oil. For oil pumping enterprises, it is of fundamental importance to determine the internal heat transfer coefficient, which allows to determine the heat loss from oil to the pipeline wall and to make further heat calculation for the choice of a rational method of heating the transported oil. The reliability of the results is ensured by the use of scientifically based methods in research and the comparability of the results with previous studies of other authors.

**Conclusions.** In order to achieve the lowest economic costs and obtain the greatest benefits, it is necessary to constantly monitor the pumped medium and use methods to improve the rheological properties of oil, such as heating, the introduction of active substances, mixing lighter oils with heavy ones.

**Keywords:** internal heat transfer coefficient, oil viscosity and density, total heat transfer coefficient, oil pumping mode, high-viscosity oil, hot oil pipelines.

*Для цитирования: Кузнецов, С. Н.* Оценка зависимости полного коэффициента теплопередачи от плотности и вязкости нефти / С. Н. Кузнецов, К. С. Дуванов // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. – 2018. – № 3 (12). – С. 33- 39.

*For citation: Kuznetsov, S. N.* The estimation of the dependence of internal heat transfer coefficient the density and viscosity of oil / S. N. Kuznetsov, K. S. Duvanov // Gradostroitelstvo. Infrastruktura. Kommunikatsii. – 2018. – № 3 (12). – Pp. 33- 39.

УДК 622.69

## АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ СИСТЕМ ОБНАРУЖЕНИЯ УТЕЧЕК НА МАГИСТРАЛЬНЫХ НЕФТЕПРОВОДАХ

М. А. Долбилова, А. А. Губин

*Воронежский государственный технический университет**М. А. Долбилова, старший преподаватель кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела**Россия, г. Воронеж, тел.: +7 (473) 271-53-21, e-mail: teplosnab\_kaf@vgasu.vrn.ru**А. А. Губин, студент кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела**Россия, г. Воронеж, тел.: +7 (951) 541-42-97, e-mail: iandrey2222@gmail.com*

**Постановка задачи.** Контроль герметичности магистральных трубопроводов является важным направлением обеспечения безопасной эксплуатации трубопроводного транспорта нефти. Для своевременного предупреждения утечек и несанкционированных врезок существуют программно-технические средства, производимые в России и за рубежом.

**Результаты.** Рассмотрены современные системы обнаружения утечек, их структура и принцип работы. Проведенный анализ методов обнаружения утечек позволил сравнить эффективность систем обнаружения утечек различных производителей.

**Выводы.** Анализ эффективности методов обнаружения утечек показал, что рассмотренные методы обнаружения утечек не удовлетворяют всем предъявляемым требованиям. Только различные комбинации методов, применяемые производителями, позволяют обеспечить требуемый уровень точности и достоверности полученных результатов. Выявлена наиболее эффективная система обнаружения утечек.

**Ключевые слова:** магистральный нефтепровод, методы обнаружения утечек, мониторинг, контроль утечек, система обнаружения утечек.

**Введение.** Утечки нефтепродуктов из трубопроводов представляют опасность для людей и окружающей среды. Последствиями утечек является: загрязнение природы, угроза возгорания и взрыва, устранение последствий ведет к значительным экономическим потерям. Для выявления утечек и несанкционированных врезок на магистральных трубопроводах применяются системы обнаружения утечек (СОУ).

Система обнаружения утечек – автоматизированная информационная система, осуществляющая контроль над целостностью стенки трубопровода. Основная цель СОУ заключается в том, чтобы выявить факт утечки и определить её местоположение. Система обнаружения утечек формирует сигнал тревоги о возможном нарушении сплошности трубопровода и отображает информацию, на основе которой можно сделать заключение о наличии или отсутствии утечек.

В результате исследования рынка в области систем обнаружения утечек удалось выявить ряд современных производителей. В данной статье рассмотрены их основные продукты. Для оценки эффективности различных СОУ был выполнен анализ методов обнаружения утечек.

### 1. Анализ методов обнаружения утечек на магистральных нефтепроводах

Методы обнаружения утечек и несанкционированных врезок подразделяют на две категории, а именно:

- методы постоянного контроля;
- методы периодического контроля.

К методам постоянного контроля относят:

1. Метод сравнения расходов. Базируется на следующем принципе: при отсутствии утечки в установившемся режиме перекачки мгновенный расход жидкости постоянный в начальном и в конечном сечении участка трубопровода.

2. Метод сравнения изменения скорости расходов. Суть метода заключается в том, чтобы мгновенно измерить скорость расхода в начальной и конечной точках отрезка нефтепровода при возникновении утечки.

3. Корреляционный метод. С помощью двух датчиков, установленных на нефтепроводе производится измерение виброакустического сигнала (на нем базируется данный метод), генерируемого утечкой.

4. Метод акустической эмиссии. Основан на регистрации высокочувствительными пьезоэлектрическими датчиками, расположенными на заданном участке нефтепровода, сигналов акустической эмиссии (АЭ) о микротрещинах в стенке трубы и об утечках жидкости.

5. Метод линейного баланса. Основан на постоянстве мгновенного и интегрального значений объемов перекачиваемой жидкости в начале и в конце участка трубопровода при отсутствии утечки и установившемся режиме перекачки.

6. Волновой метод. Основан на регистрации фронта волны изменения давления, которая возникает в месте утечки из нефтепровода. Место возникновения утечки вычисляют по разнице времени прихода фронта волны в конечные сечения исследуемого участка нефтепровода.

7. Метод гидравлической локации. Данный метод основан на анализе гидравлических характеристик участка трубопровода. Обнаружение места утечки и оценка ее интенсивности основаны на измерении гидравлических уклонов в конечных сечениях участка магистрального нефтепровода. Целью является определение конкретного месторасположения утечки нефти и оценка ее интенсивности в зависимости от изменения гидравлических уклонов на этих участках.

Итоги проведенного анализа публикаций [1-3] посвященных методам постоянного мониторинга утечек из магистрального нефтепровода, сведены в таблицу. В данной таблице методы обнаружения утечек классифицированы по десяти критериям.

Таблица

Сравнение эффективности методов постоянного мониторинга  
утечек из нефтепровода

| Метод контроля                              | Точность | Чувствительность | Надежность и автоматизация | Достоверность информации | Помехоустойчивость | Безопасность в эксплуатации | Протяженность участка трубы | Экономичность | Влияние климатических условий | Использование дополнительных аппаратных средств |
|---------------------------------------------|----------|------------------|----------------------------|--------------------------|--------------------|-----------------------------|-----------------------------|---------------|-------------------------------|-------------------------------------------------|
| Метод сравнения расходов                    | -        | -                | +                          | -                        | -                  | +                           | -                           | +             | -                             | -                                               |
| Метод сравнения изменения скорости расходов | -        | -                | +                          | -                        | -                  | +                           | -                           | +             | -                             | -                                               |
| Корреляционный метод                        | +        | -                | +                          | -                        | +                  | +                           | +                           | -             | -                             | +                                               |
| Метод акустической эмиссии                  | +        | +                | +                          | +                        | -                  | +                           | -                           | -             | +                             | +                                               |

Окончание таблицы

|                                     |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|-------------------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Метод линейного баланса             | - | - | + | + | - | + | + | - | - | - |
| Метод отрицательных ударных волн    | + | - | + | + | - | + | + | + | - | - |
| Метод гидравлической локации утечки | + | н | + | + | н | + | + | + | н | н |

Примечание: «+» – высокий уровень; «-» – низкий уровень.

## 2. Продукция производителей систем обнаружения утечек на магистральных нефтепроводах. Рассмотрим продукцию различных производителей:

1. СОУ «Arrius LD» (Инжиниринговая компания «Комбит», г. Москва). Система «Arrius LD» осуществляет мониторинг имеющихся параметров технологического процесса. В результате их анализа формирует аварийный сигнал о наличии утечки и её местоположении. Дежурный персонал на основании данных, отображаемых на мнемосхеме, СОУ принимает решение о факте утечки.

В системе используются следующие методы обнаружения утечек: метод линейного баланса, метод сравнения расходов и метод отрицательных ударных волн.

СОУ «Arrius LD» представляет собой технический комплекс, состоящий из следующих уровней (рис.1):

- нижний уровень (средства измерения);
- средний уровень (локальные станции СОУ, расположенные на канале передачи);
- верхний уровень (сервер СОУ и автоматизированное рабочее место СОУ).

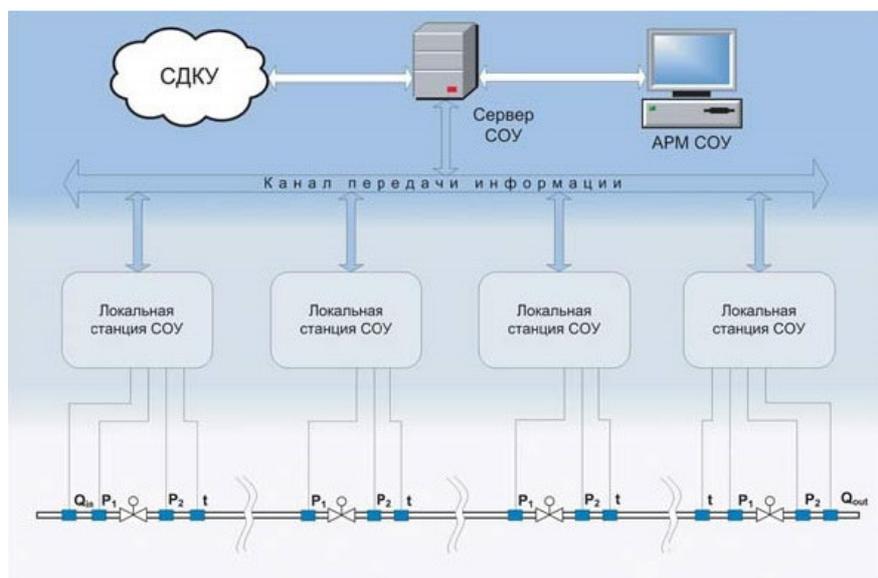


Рис. 1. Структурная схема системы обнаружения утечек «Arrius LD»

Локальные измерительные станции собирают технологические данные, измеренные средствами нижнего уровня. С помощью программного обеспечения определяются основные параметры потока, которые учитываются при расчете расходов. Дополнительно учитывается влияние изменения температуры на жидкость и геометрические размеры трубы, что очень важно для протяженных участков трубопровода. Для синхронизации локальная станция СОУ оснащена проводной или спутниковой системой точного времени.

Верхний уровень состоит из сервера СОУ, одного или нескольких рабочих мест СОУ. Выявление утечек осуществляется с помощью специального программного обеспечения сервера СОУ, с использованием информации, получаемой от локальных станций. Сигналы тре-

воги, значения технологических параметров, состояние отдельных составляющих трубопровода отображаются на мнемосхемах АРМ СОУ.

2. СОУ «VUMPEL» (НПО «Вымпел», г. Москва). Данная система обнаружения утечек представляет собой комплекс программно-технических средств, обрабатывающий в реальном времени информацию с датчиков, находящихся на трубопроводе, с целью выявления факта нарушения его целостности и определение местоположения аварии. Более детально ознакомиться с принципом работы данной системы можно на рисунке 2.

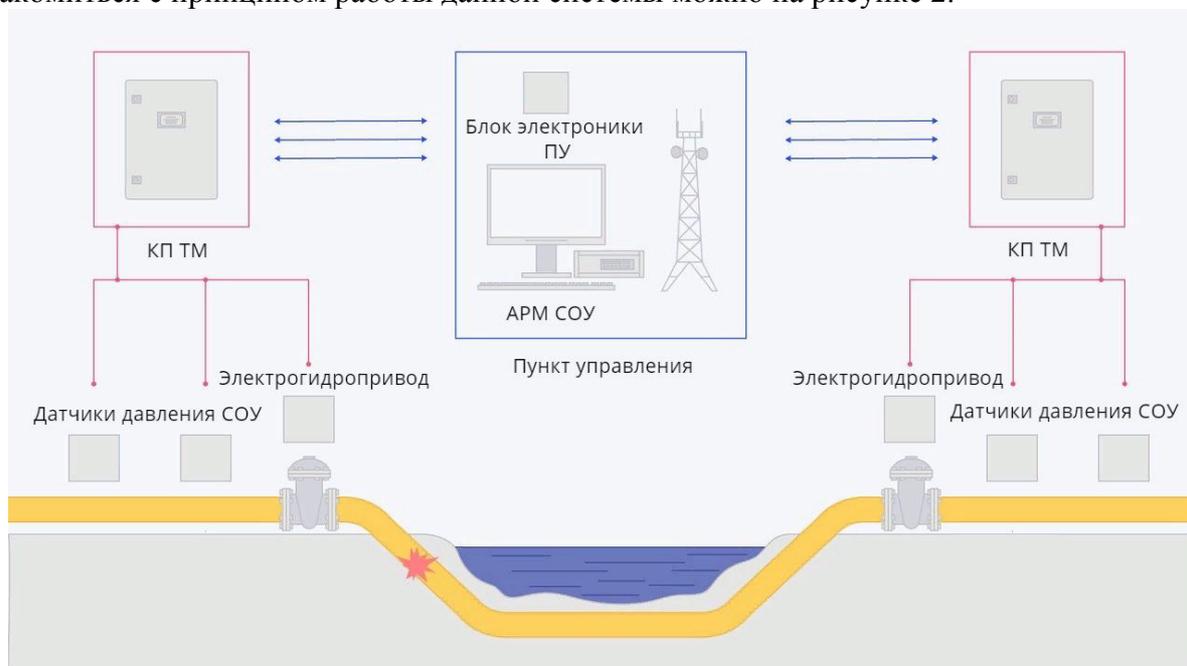


Рис. 2. Структурная схема системы обнаружения утечек «НПО «Вымпел»»

В системе используются следующие методы обнаружения утечек:

- 1) метод отрицательных ударных волн;
- 2) метод линейного баланса;
- 3) метод сравнения расходов.

Метод отрицательных ударных волн применяется для оперативного определения утечек малого объема с высокой точностью. Для регистрации волн давления контролируемый пункт телемеханики (КП ТМ) оборудуется двумя датчиками давления СОУ, подключаемыми к блоку обнаружения утечек.

В блоке подвергаются анализу сигналы с датчиков, выявляются волны падения давления и определяются их направление и время прохождения. Использование приемника GPS для синхронизации времени позволяет достичь высокой точности регистрации момента прохождения волны. Информация о выявленных волнах доставляется на пункт управления. Сервер СОУ производит анализ полученной информации и по характеру распространения волн в трубопроводе определяет факт утечки, время ее возникновения и точную координату.

Методы линейного баланса и сравнения расходов относятся к группе параметрических методов. Они используются для обнаружения факта и места возникновения утечек больших и средних объемов на основе анализа изменения технологических параметров. Датчики расхода и давления, располагаемые на трубопроводе, не требуют установки какого-либо вспомогательного оборудования.

Достоинствами СОУ «VUMPEL» являются:

- низкое энергопотребление;
- возможность эксплуатации в тяжелых климатических условиях;

- возможность интеграции в систему линейной телемеханики;
- создание архива данных основных технологических параметров.

3. СОУ «PipePatrol» (ООО «КРОНЕ Инжиниринг», Самарская обл., KROHNE Group, г. Дуйсбург, Германия). Сегодня, компания KROHNE («КРОНЕ Инжиниринг» - в России), имеет разветвленную международную производственную и дилерскую сеть по всему миру. В статье рассматривается СОУ отечественного производства.

СОУ «PipePatrol» – это максимально чувствительная внутренняя система обнаружения утечек. Данная система для обнаружения фактов нарушения целостности трубопровода и их локализации реализует метод отрицательных ударных волн и метод акустической эмиссии. PipePatrol объединяет технологию динамического моделирования в реальном времени (RTTM) с запатентованным модулем определения моделей утечек для создания расширенной динамической модели в реальном времени (E-RTTM). Такой комплексный подход к обнаружению утечек позволяет контролировать нефтегазовые трубопроводы, как при стабильном состоянии, так и в неустойчивых движениях потока. Данная СОУ гарантирует достоверное обнаружение реальных утечек и дифференцирует их от несбалансированных отклонений, вызванных изменениями плотности или воздействием сепарационных установок.

Система обнаружения утечек может быть внедрена в существующие трубопроводные системы. Она является полностью резервированной и использует данные, предоставляемые имеющимися устройствами.

4. Система мониторинга обнаружения утечек 1010LD («Controlotron Corporation», США). Система 1010 LD фирмы Controlotron – это сочетание системы мониторинга и системы обнаружения утечек нефтепровода на основе универсального ультразвукового расходомера. Данная СОУ работает по методу сравнения расходов и методу линейного баланса.

Система 1010 LD гарантирует обнаружение как небольших, так и катастрофических утечек из трубопровода. Система включает в себя локальные станции, на которых устанавливаются накладные ультразвуковые расходомеры, и головную станцию, которая собирает и подвергает анализу информацию от локальных.

Обнаружение утечек производится головной станцией объемным балансовым методом с учетом эпюр давлений и температур вдоль трубопровода на основе имеющейся информации, собираемой с локальных станций.

Достоинством системы является отсутствие необходимости непрерывного контроля дежурным персоналом. Разница в объемах на любом участке трубопровода вызывает аварийный сигнал. Если он возник за один из четырех интервалов времени: 1, 5, 15, 60 мин, то на экран мгновенно выводится участок трубопровода, вызвавший сигнал тревоги.

Применение системы обнаружения утечек 1010 LD особенно выгодно при внедрении ее на действующий нефтепровод, так как накладные датчики легко устанавливаются и не требуют остановки перекачки для выполнения монтажных и пусконаладочных работ.

**3. Сравнение систем обнаружения утечек.** Воспользуемся таблицей, которая описано в данной статье ранее, чтобы выявить наиболее эффективную систему обнаружения утечек.

Наиболее точно рассматриваемым требованиям удовлетворяет система обнаружения утечек «PipePatrol», которая базируется на методе акустической эмиссии. Данный метод позволяет определять утечку с высокой точностью, является надежным методом без ложных срабатываний, слабо зависит от климатических и погодных условий и имеет высокий уровень безопасности. Методами с низкой точностью являются метод сравнения расходов и метод линейного баланса. Метод отрицательных волн и метод гидравлической локации утечки экономичны, позволяют с высокой точностью определить утечку, однако, уступают по ряду других критериев.

Выбор конкретной системы СОУ для каждого проекта должен быть обоснован технико-экономическим расчетом.

**Выводы.** Анализ эффективности представленных методов позволяет сделать следующие выводы:

1) наиболее точные методы основаны на использовании специальных устройств дополнительной диагностики;

2) ни один из рассмотренных методов обнаружения утечек не удовлетворяет всем предъявляемым требованиям;

3) с помощью существующих методов мониторинга целостности трубопровода практически невозможно обнаружить «криминальные» утечки кратковременного использования.

Установлено, что только применение различных комбинаций методов позволяет производителям обеспечивать требуемый уровень точности и достоверности полученных результатов. СОУ «PipePatrol» является самой современной системой для обнаружения и локализации утечек в трубопроводах.

#### Библиографический список

1. Шестаков, Р. А. К вопросу о методах обнаружения утечек и несанкционированных врезок на магистральных нефтепроводах / Р. А. Шестаков // Тр. РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина. – 2015. – № 1. – С. 85– 94.

2. Шестаков, Р. А. Анализ нормативных методов обнаружения утечек и пути их совершенствования / Р. А. Шестаков, Д. Н. Комаров, С. А. Филиппов // Промышленная и экологическая безопасность. – 2015. – №3. – С. 47- 50.

3. Мамонова, Т. Е. Методы диагностики линейной части нефтепроводов для обнаружения утечек / Т. Е. Мамонова // Проблемы информатики. – 2012. – № S3 (17). – С. 103- 112.

4. Система обнаружения утечек Appius LD. Общее описание. – 2018 [Электронный ресурс]. URL: <http://www.kombit.ru/kompleksnye-resheniya-po-izmeren/sistema-obnaruzheniya-utechek/sistema-appius-ld/>

5. Система обнаружения утечек VYMPPEL. Общее описание – 2018 [Электронный ресурс]. URL: <http://vympep.group/products/telemechanics/sistema-obnaruzheniya-utechek/>

## ANALYSIS OF MODERN SYSTEMS OF DETECTION OF LEAKS IN OIL PIPELINES

M. A. Dolbilova, A. A. Gubin

*Voronezh state technical University*

*M. A. Dolbilova, senior lecturer of the Department of Heat and Gas Supply and Oil and Gas Business*

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

*A. A. Gubin, student of the Department of Heat and Gas Supply and Oil and Gas Business*

*Russia, Voronezh, tel.: +7 (951) 541-42-97, e-mail: iandrey2222@gmail.com*

**Statement of the problem.** Tightness control of trunk pipelines is an important direction of ensuring safe operation of oil pipeline transport. For the timely prevention of leaks and unauthorized tie-ins, there are software and hardware produced in Russia and abroad.

**Results.** Modern leak detection systems, their structure and operating principle are considered. The analysis of leak detection methods allowed to compare the effectiveness of leak detection systems of different manufacturers.

**Conclusions.** Analysis of the effectiveness of leak detection methods showed that the methods of leak detection do not meet all the requirements. Only different combinations of methods used by manufacturers can provide the required level of accuracy and reliability of the results. The most effective system of leak detection is revealed.

**Keywords.** oil trunk pipeline, leak detection methods, monitoring, leak monitoring.

*Для цитирования: Долбилова, М. А. Анализ современных систем обнаружения утечек на магистральных нефтепроводах / М. А. Долбилова, А. А. Губин // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. – 2018. – № 3 (12). – С. 40- 45.*

*For citation: Dolbilova, M. A. Analysis of modern systems of detection of leaks in oil pipelines / M. A. Dolbilova, A. A. Gubin // Gradostroitelstvo. Infrastruktura. Kommunikatsii. – 2018. – № 3 (12). – Pp. 40- 45.*

УДК 621.6

## ОБОСНОВАНИЕ РЕСУРСОБЕРЕГАЮЩИХ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ РЕЗЕРВУАРНЫХ УСТАНОВОК СЖИЖЕННОГО ГАЗА

С. Г. Тульская, Е. А. Короткова

*Воронежский государственный технический университет**С. Г. Тульская, канд. техн. наук, доц. кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела**Россия, г. Воронеж, тел.: +7 (473) 271-53-21, e-mail: tcdinkfyf2014@yandex.ru**Е. А. Короткова, магистрант кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела**Россия, г. Воронеж, тел.: +7 (980) 251-78-37, e-mail: lisakrtkv@gmail.com*

**Постановка задачи.** Сжиженные газы – отличный источник энергии во многих отраслях. Его применяют в качестве топлива, в сельском хозяйстве, в сфере ЖКХ, в строительстве и на производстве. От этого спрос на СУГ постоянно растет. В связи с этим следует, что необходимо более рационально и, что немаловажно, ресурсосберегающе выбирать решения для проектирования резервуара.

**Результаты и выводы.** Разработана методика расчета ресурсосберегающих мероприятий при проектировании подземных резервуарных установок сжиженного газа. Разработаны новые конструктивные решения подземных резервуарных установок, которые позволяют осуществить сравнительную характеристику с типовым вариантом. Установлена разница экономичности капитальных вложений в металлоемкость резервуара, сокращения площадки под резервуарную установку, снижения расхода на песчаную подушку.

**Ключевые слова:** сжиженный углеводородный газ, резервуар, ресурсосбережение, установка.

**Введение.** Природный газ занимает третье место по потреблению после нефти и угля в России. Широкое применение природный газ достиг в промышленности и производстве электроэнергии, а также коммунально-бытовом секторе и транспорте. Природный газ достаточно популярен в качестве горючего в жилых, частных и многоквартирных домах для отопления, подогрева воды и приготовления пищи, как топливо для машин котельных и различной техники. Однако, не во всех населенных пунктах страны есть возможность обеспечить газификацию жилых домов. Сжиженный углеводородный газ (СУГ) является идеальным топливом, которое используется повсеместно.

СУГ удобен при транспортировке и хранении. Объем сжиженного газа, в отличие от его стандартного состояния, значительно меньше. 18000 м<sup>3</sup> газообразной углеводородной смеси выделяют в конечном итоге всего 35 м<sup>3</sup> сжиженного газа. Хранение СУГ в подземных резервуарах стабильно по температурному режиму, что не доставляет особых проблем в любую погоду.

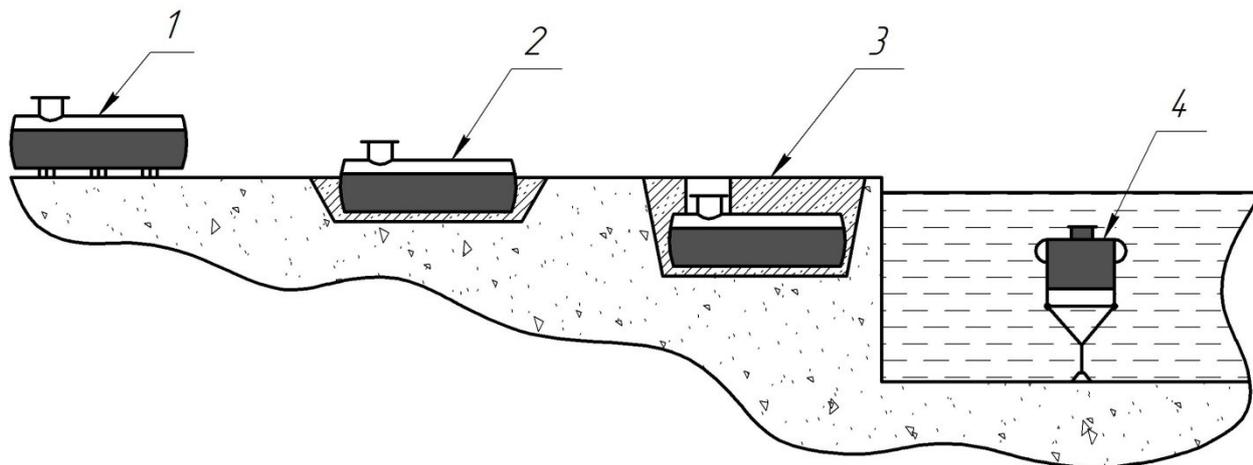
**1. Резервуарное хранение сжиженных газов.** Резервуары для хранения нефти и нефтепродуктов являются важнейшим сооружением на нефтебазах и в резервуарных парках.

Качество хранимого продукта зависит от технического состояния емкости, ее своевременного обслуживания и правильной эксплуатации. Резервуарное хранение – это важная часть в производственной цепочке СУГ. Сосуды для хранения жидкости устанавливаются на пункте добычи нефтепродуктов, станциях переработки, а также непосредственно в месте крупного хранения. Так как физические и химические свойства газа могут меняться в связи с постоянной переработкой продукта, для этого требуется подбирать определенный резервуар с различными техническими характеристиками [1-4].

Критерии для определения классификационной принадлежности резервуаров для хранения нефтепродуктов могут быть различными, например, по основному используемому материалу или по конструктивным особенностям крыши. Если основываться на общей системе классификаций, то можно выделить следующие типы:

1. По расположению на местности (рис. 1):

- наземные;
- полуподземные;
- подземные;
- подводные.



**Рис. 1.** Расположение резервуаров на местности:

1 – наземный; 2 – полуподземный; 3 – подземный; 4 – подводный

1. Классификация резервуаров по материалу:

- железобетонные;
- металлические;
- неметаллические (резинотканевые, пластиковые, стеклопластиковые);
- образованные в природных пустотах (шахтные, льдогрунтовые).

2. По форме корпуса (рис. 2):

- цилиндрические;
- сферические;
- каплевидные.

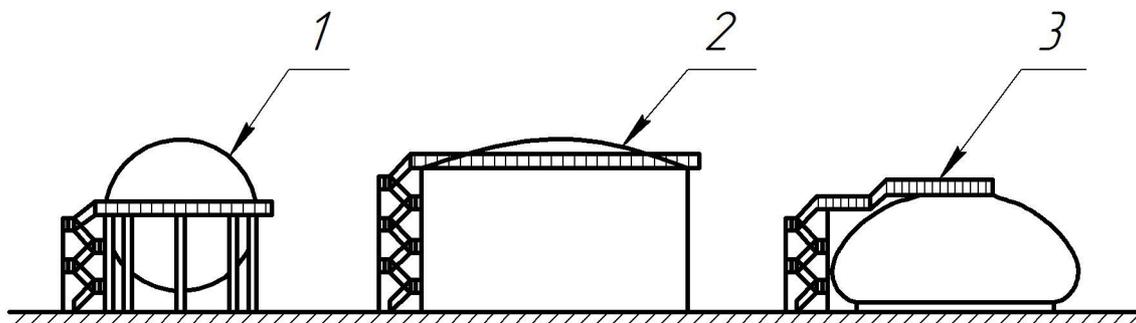
3. По конструктивным особенностям крыши выделяют:

- резервуары с плавающей крышей;
- резервуары со стационарной крышей и понтоном;
- резервуары со стационарной крышей и без понтона.

**2. Характеристика установок резервуарного снабжения сжиженного углеводородного газа подземного типа.** Как было сказано ранее по расположению на местности резервуары делят на: наземные, полуподземные, подземные и подводные. В данной работе более детально рассмотрим подземный резервуар.

Подземный горизонтальный резервуар представляет собой металлическое цилиндрическое сооружение, оснащенное специальными деталями и оборудованием (патрубки, люки, опоры, контрольно-измерительные приборы). Насосное оборудование, испаритель и, при необходимости, подогрев также являются частью сооружения. В верхней части находится отверстие, через которое происходит слив и налив хранимого продукта, а также осуществляется техническое обслуживание резервуара. При эксплуатации важно следить за уровнями

температуры и давления резервуара. Применение испарителя нужно, когда естественного испарения из емкости не хватает по определенным причинам. При этом резервуар должен быть заполнен не более чем на 85 %. Расположение резервуара обязано быть ниже промерзания грунтов. Нормальное рабочее давление для эксплуатации резервуара 1,6 МПа при температуре от - 40 °С до + 40 °С.



**Рис.2.** Типы резервуаров по форме корпуса:  
1 – сферический; 2 – цилиндрический; 3 – каплевидный

Применение подземных резервуаров для хранения СУГ разнообразно: стационарное хранение жидкости, использование в качестве топлива на АЗС, обеспечение промышленных объектов и частных потребителей. Но прежде чем приступить к работе с емкостью, на заводе-изготовителе резервуар проходит тщательную проверку сварных соединений, испытание гидравликой на герметичность.

Для изготовления данного резервуара используется низколегированная сталь. Емкость формируется из листового металлопроката, сваривается горизонтальными швами с помощью полуавтоматической сварки. К ней присоединяются опоры, горловина и в дальнейшем специальные приборы. После происходит зачистка швов и шлифовка резервуара, затем проводятся гидравлические испытания. Для установки резервуара вырывается котлован и резервуар укладывается на песчаную подушку. Для сосуда заливается железобетонный фундамент, к которому крепятся опоры с помощью анкерных болтов. Оставшееся пространство вокруг резервуара засыпается песком. От емкости отходит система газопроводов для поставки потребителю. Заземление сосуда на месте монтажа обязательно так же как и защита от коррозионного воздействия. Горловина находится над поверхностью земли для того, чтобы вовремя проводить техническое обслуживание резервуара.

При помощи нормативного документа и руководства по эксплуатации проводится техническое освидетельствование сосуда. Во время пуска и эксплуатации резервуара соблюдаются требования пожарной безопасности [5-7].

Наиболее важными преимуществами использования подземных резервуаров являются:

- подземные резервуары используются круглогодично;
- значительная экономия пространства, а, следовательно, эффективное ее использование;
- отсутствие возгорания на месте размещения емкости;
- применение и эксплуатация в любых климатических районах.

**3. Разработка экономико-математической модели подземных резервуарных установок.** Рациональное использование подземных резервуарных установок требует разработки научно-обоснованных рекомендаций по выбору их оптимальных конструктивных параметров в зависимости от объемов потребления газа в системах газоснабжения. К ним относятся:

- геометрические параметры резервуара, а именно диаметр  $d$  длина  $l$ ;
- объем резервуара  $V_p$ ;
- количество резервуаров в резервуарной установке ( $n = 1$ );

– вариант расположения резервуара.

Определим затраты подземной резервуарной установки по формуле:

$$Z = K + UI, \quad (1)$$

где  $K$  – капитальные вложения в сооружение резервуарной установки, руб;  $I$  – годовые эксплуатационные расходы, руб/год;  $U$  – дисконтирующий множитель, год, определяемый по формуле:

$$U = \frac{(1 + E)^{t_{ca}} - 1}{(1 + E)^{t_{ca}} \cdot E}, \quad (2)$$

где  $t_{ca}$  – срок службы резервуарной установки, лет (принимается равным 20 лет, учитывая моральное старение технологической установки);  $E$  – минимальная, приемлемая для инвестора норма прибыли на капитал (в практике технико-экономических расчетов принимается равной ставке банковского депозита, равной 10 %).

Наименьшие затраты достигаются, когда в резервуарной установке находится одна емкость, соответственно, суммарный объем  $\sum V$  будет равняться объему резервуара  $V_p$ .

Преобразуем формулу (1) через объем резервуара и введем формфактор резервуара. Формфактор резервуара – отношение длины цилиндрической части резервуара к его диаметру. В общем виде затраты можно представить в виде:

$$Z = f - [\Phi, V_p(Q_{год})] = \min, \quad (3)$$

где  $\Phi$  – формфактор резервуара (отношение длины цилиндрической части резервуара к его диаметру  $d$ );  $V_p$  – геометрический объем резервуара, м<sup>3</sup>;  $Q_{год}$  – годовой объем потребления газа от резервуарной установки, т/год.

Согласно ГОСТ 6533-78 «Днища эллиптические отбортованные стальные для сосудов, аппаратов и котлов» [8] подземные резервуары изготавливают с эллиптическим днищем. Отношения значения глубины выпуклости днища резервуара, к его диаметру устанавливается равным 0,25. Данные условия упрощают технологию изготовления резервуаров, так как отношение параметра толщины эллиптического днища к цилиндрической стенке равно единице. Используя заданный объем емкости  $V_p$  и диаметр  $d$ , можно определить другие расчетные параметры резервуара:

– формфактор резервуара:

$$\Phi = \frac{4V_p}{\pi d^3} - 0,33; \quad (4)$$

– полная длина резервуара, учитывая эллиптическое дно:

$$l = (\Phi + 0,5)d; \quad (5)$$

– площадь поверхности резервуара:

$$F_p = \pi d^2 (A + 0,69). \quad (6)$$

Учитывая годовой объем газопотребления в жилых домах, на промышленных предприятиях можно сделать следующий вывод:

$$2,0 \leq Q_{год} \leq 100 \text{ T / год}. \quad (7)$$

Техническое освидетельствование должно происходить не реже одного раза в 10 лет.

Это предусматривает внутренний осмотр сосуда. Данные требования предусматривают более тщательно подходить к определению геометрических параметров резервуара.

Для того чтобы понять какой должна быть длина резервуара, нужно учитывать практический опыт проведения работ в данной области:

$$1,5 \leq l \leq 2,2 \text{ м.} \quad (8)$$

При этом необходимо учитывать геометрические требования, для получения нужных пределов диаметра резервуара:

$$0,9 \leq d \leq 1,8 \text{ м.} \quad (9)$$

Учитывая уравнение (8) и (9) можно выявить следующие ограничения для величины формфактора резервуара:

$$0,33 \leq \Phi \leq 1,94. \quad (10)$$

В настоящее время большей популярностью пользуются индивидуальные резервуарные установки подземного типа для газификации жилых домов, находящихся вдали от газовых сетей. Подобные резервуары отличаются небольшими объемами газопотребления и требуют применения резервуаров с пониженной емкостью.

Для определения пределов объема резервуара учитываются ограничения в уравнениях (8) и (9). Если предположить, что  $d_{\min} = 0,9 \text{ м}$  и  $l_{\min} = 1,5 \text{ м}$ , то получим  $V_p = 0,9 \text{ м}^3$ .

Следовательно, можно определить ограничение объема следующим образом:

$$0,96 \leq V_p \leq 5,0 \text{ м}^3. \quad (11)$$

Минимизация затрат с целью определения параметров резервуара приводит к тому, что следует решить две технические задачи:

- определение оптимального объема резервуара учитывая годовое газопотребление;
- определение оптимальных размеров резервуара.

Исходная целевая функция (3) принимает вид:

$$Z' = f(\Phi, V_p) = \min, \quad (12)$$

где  $Z'$  – дисконтированные затраты на сооружение и эксплуатацию резервуарной установки, руб.

Расходы по эксплуатации резервуарной установки включают в себя амортизационные отчисления по ее отдельным элементам, а также полную стоимость их обслуживания и текущего ремонта. Указанные затраты не зависят от геометрических показателей резервуара, поэтому могут быть приняты постоянными. Амортизированные отчисления устанавливаются в виде нормативных процентов от соответствующих капиталовложений и в целом по групповой резервуарной установке составляют 4,2 % от ее сметной стоимости. Следовательно функция (12) принимает вид:

$$K = f(\Phi, V_p) = \min \quad (13)$$

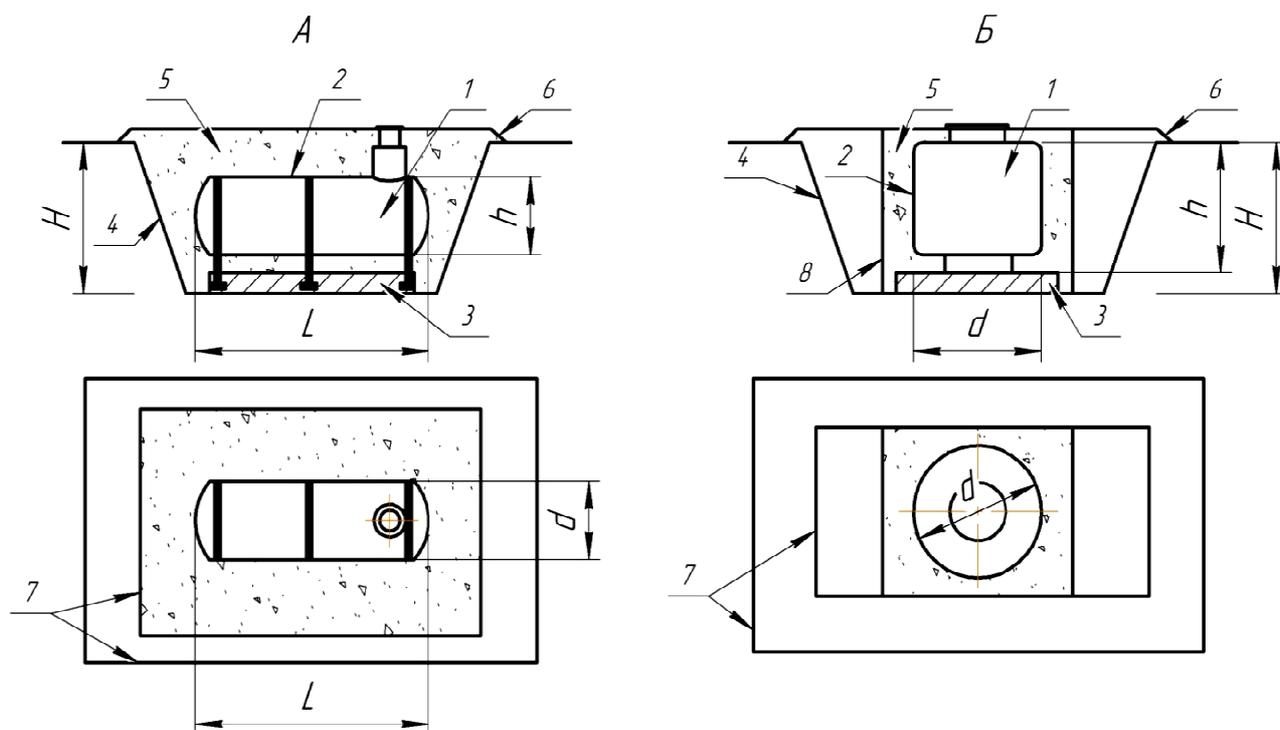
где  $K$  – капитальные вложения в сооружения резервуарной установки, руб.

В общем случае капитальные вложения в сооружение резервуарных установок включают в себя: стоимость работ по монтажу подземных резервуаров  $K_p$  и устройства антикоррозийной изоляции  $K_{II}$ , стоимость разработки и обратной засыпки котлована грунтом  $K_k$ ,

устройства бетонных фундаментов под резервуары  $K_{\Phi}$ , песчаной засыпки вокруг резервуаров  $K_{II}$ , отсыпки надпочвенного грунта  $K_{отс}$ , устройства наружного ограждения  $K_{опр}$ , а также стоимость территории, отчуждаемой под резервуарную установку  $K_{отч}$ :

$$K = K_p + K_{II} + K_{\kappa} + K_{\Phi} + K_{II} + K_{отс} + K_{опр} + K_{отч} \quad (14)$$

Капитальные вложения являются важным параметром при проектировании и строительстве резервуара, поэтому их экономия – это актуальная проблема.



**Рис. 3.** Схема подземной резервуарной установки СУГ: а – типовый вариант; б – расчетный вариант.  
1 – резервуар; 2 – изоляция; 3 – фундамент; 4 – котлован; 5 – ограждение резервуарной установки; 6 – песок; 7 – отсыпка грунта; 8 – отчуждаемая территория, 9 – опалубка

На рисунке 3 рассматриваются два альтернативных варианта технических решений подземных резервуарных установок:

- базовый вариант, широко используемый в отечественной практике газоснабжения, предусматривающий горизонтальную установку емкостей и полную обратную засыпку котлована песчаным грунтом;
- предложенный вариант, предусматривающий вертикальную установку емкостей и частичную засыпку котлована песчаным грунтом в специальную передвижную металлическую опалубку.

Второй вариант является более обоснованным, так как с увеличением объема вертикального резервуара оптимальное значение его формфактора уменьшается. Для горизонтального резервуара наблюдается обратная картина.

**Вывод.** Проанализировано текущее состояние резервуарных установок подземного типа. На основании проведенного анализа выявлена оценка практического состояния в современном мире. Разработана математическая модель оптимизации конструктивных параметров подземных резервуарных установок сжиженного углеводородного газа, учитывающая взаимосвязь геометрических размеров емкостей.

По сравнению с существующим вариантом сооружения резервуарных установок (с го-

ризонтальным размещением емкостей и полной засыпкой котлована песчаным грунтом), предлагаемое решение обеспечивает экономию капитальных вложений, сокращение площадей, отчуждаемых под размещение резервуарных установок, снижение расхода песка для обратной засыпки котлована, и целый ряд других преимуществ экономического и технического характера. При использовании данной методики появляется возможность более практично подойти к вопросу ресурсосберегающих решений при проектировании и строительстве резервуарных установок.

#### Библиографический список

1. **Курицын, Б. Н.** Резервуарные установки на базе подземных вертикальных резервуаров с естественной регазификацией / Б. Н. Курицын, О. Н. Медведева, Н. Н. Осипова // Строительство – 2000. – Ростов на Дону, 2000. – С. 37-38.
2. **Курицын, Б. Н.** Резервуарные установки сжиженного газа для централизованного газоснабжения / Б. Н. Курицын // Распределение и сжижение газа: межвуз науч. сб.- Саратов: СПИ, 1980. – С. 68-77.
3. **Рачевский, Б. С.** Сжиженные углеводородные газы / Б.С.Рачевский – М.: Нефть и газ, 2009. – 640 с.
4. **Мартыненко, Г. Н.** Моделирование утечек газа из подземных газопроводов при авариях / Г. Н. Мартыненко, О. С. Поддубная // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. – 2012. – № 1 (6). – С. 43-45.
5. **Тулская, С. Г.** Экологические проблемы загрязнения окружающей среды нефтепродуктами в ходе разлива из резервуаров / С. Г. Тульская, К. А. Скляров, А. А. Харьковская // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. – 2016. – № 4 (5). – С. 45–51.
6. **Тулская, С. Г.** Подогрев и вероятная температура нефтепродуктов в резервуарах при хранении / С. Г. Тульская, С. В. Чуйкин, С. А. Петров // Молодой ученый. – 2016. – № 21 (125). – С. 226–228.
7. **Тулская, С. Г.** Приём и отпуск нефтепродуктов на нефтебазах при различных видах транспорта / С. Г. Тульская, А. А. Чуйкина, Е. С. Аралов // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. – 2017. – № 1 (6). – С. 69–77.
8. **ГОСТ 6533-78.** Днища эллиптические отбортованные стальные для сосудов, аппаратов и котлов. Основные размеры. – Взамен ГОСТ 6533-68; введ. 2018-04-10. – М. : изд-во стандартов, 2018. – 40 с.

## RATIONALE FOR RESOURCE-SAVING TECHNICAL DECISIONS LPG RESERVOIR INSTALLATIONS

S. G. Tulskaia, E. A. Korotkova

---

*Voronezh State Technical University*

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

*E. A. Korotkova, master of the Department of Heat and Gas Supply and Oil and Gas Business  
Russia, Voronezh, tel: + 7 (980) 251-78-37, e-mail: lisakrtkv@gmail.com*

---

**Statement of the problem.** Liquefied gases are an excellent source of energy in many industries. It is used as fuel in agriculture, housing and communal services, construction and manufacturing. From this, the demand for LPG is growing. In this regard, it should be more rational and, importantly, resource-saving to choose solutions for the design of the tank.

**Results and conclusions.** The method of calculation of resource-saving measures in the design of underground liquefied gas tank plants is developed. New design solutions of underground tank installations have been developed, which allow to carry out a comparative characteristic with the standard version. The difference between the efficiency of capital investments in the metal capacity of the tank, reducing the site for the tank installation, reducing the consumption of the sand cushion.

**Keywords:** liquefied hydrocarbon gases, reservoir, resource saving.

*Для цитирования: Тульская С. Г. Обоснование ресурсосберегающих технических решений резервуарных установок сжиженного газа / С. Г. Тульская, Е. А. Короткова // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. – 2018. – № 3 (12). – С. 46- 52.*

*For citation: Tulskaia, S. G. Rationale for resource-saving technical decisions lpg reservoir installations / S. G. Tulskaia, E. A. Korotkova // Gradostroitelstvo. Infrastruktura. Kommunikatsii. – 2018. – № 3 (12). – Pp. 46-52.*

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

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

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

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

1.1. *Введение* предполагает:

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

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

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

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

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

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

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

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

6. Обязательным элементом статьи является индекс УДК.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Автор согласен с тем, что редакция журнала имеет право:

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

- производить сокращения и редакционные изменения текста рукописи;

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

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