

**ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО
ИНФРАСТРУКТУРА
КОММУНИКАЦИИ**

Выпуск № 4 (13) 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.

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

№ 4 (13)

Декабрь, 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

№ 4 (13)

December, 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:** **Скляров К. А.**, канд. техн. наук, доц.,
Воронежский государственный технический университет
Чуйкин С. В., канд. техн. наук, доц.,
Воронежский государственный технический университет

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

Бондарев Б. А., д-р техн. наук, проф., Липецкий государственный технический университет
Енин А. Е., канд. archit, 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: *Тульская С. Г.* Дизайн обложки: *Чуйкина А. А.*

Дата выхода в свет 31.12.2018. Усл. печ. л. 6.51. Формат 60×84/8. Тираж 500 экз. Заказ № 205
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 31.12.2018. Conventional printed sheets 6.51. Format 60×84/8. Circulation 500 copies. Order 205

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

ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ, ВЕНТИЛЯЦИЯ, КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА, ГАЗОСНАБЖЕНИЕ И ОСВЕЩЕНИЕ.....	9
<i>Чуйкина А. А., Бохан А. Р., Григорьева К. А.</i> Исследование связи материальной характеристик тепловой сети и момента тепловой нагрузки.....	9
<i>Худяков А. А., Плохих Н. В., Колосова Н. В.</i> Расчет остаточного ресурса газоперекачивающего агрегата типа ГТК-25ИР от фирмы «Нуово-Пиньоне»	17
<i>Чуйкин С. В., Плаксина Е. В., Григорьева К. А.</i> Исследование распределения воздуха в помещениях сложной конфигурации.....	24
<i>Куликова Е. А., Попова Н. М., Коротких Н. В., Петрикеева Н. А.</i> Оптимизация работы энергосистем. Определение вероятного ущерба от перерывов энергоснабжения.....	29
<i>Коротких Е. П., Бокало И. Д., Козлов А. И.</i> Использование конденсационного утилизатора в котельной малой мощности.....	37
<i>Садовникова А. Ю., Завьялов К. О.</i> Перспективы применения конденсационных котлов в коммунальной и промышленной теплоэнергетике.....	42
<i>Плаксина Е. В., Чуйкин С. В.</i> Определение огнестойкости регулятора давления систем.....	48
ПРАВИЛА НАПИСАНИЯ И ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЕЙ.....	55

CONTENTS

HEAT AND GAS SUPPLY, VENTILATION, AIR CONDITIONING, GAS SUPPLY AND ILLUMINATION	9
<i>Chuykina A. A., Bohan A. R., Grigorieva K. A.</i> Study of the relationship of the material characteristics of the heat network and heat load time.....	9
<i>Khudyakov A. M., Plohih N. V., Kolosova N. V.</i> The calculation of the residual life of gas pumping unit of the type GTK-25ИР from the company «Nuovo-Pignone».....	17
<i>Chuykin S. V., Plaksina E. V., Grigorieva K. A.</i> The study of the distribution of air in premises of complex configuration.....	24
<i>Kulikova E. A., Popova N. M., Korotky N. V., Petrikeeva N. A.</i> Optimization of work of power supply systems. Determination of probable damage from power supply break.....	29
<i>Korotkikh E. P., Bokalo I. D., Kozlov A. I.</i> Use of condensation utilizer in boiler low power.....	37
<i>Sadovnikova A. Y., Zavyalov K. O.</i> Prospects for the use of condensing boilers in the municipal and industrial heat and power industry.....	42
<i>Plaksina E. V., Chuykin S. V.</i> Determination of the fire resistance of the pressure regulatpr of gas supply systems.....	48
RULES OF PREPARATION OF ARTICLES	55

ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ, ВЕНТИЛЯЦИЯ, КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА, ГАЗОСНАБЖЕНИЕ И ОСВЕЩЕНИЕ

УДК 697.33:697.34

ИССЛЕДОВАНИЕ СВЯЗИ МАТЕРИАЛЬНОЙ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕПЛОВОЙ СЕТИ И МОМЕНТА ТЕПЛОВОЙ НАГРУЗКИ

А. А. Чуйкина, А. Р. Бохан, К. А. Григорьева

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*

*К. А. Григорьева, студентка кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела
Россия, г Воронеж, тел.: +7 (473) 271-53-21, e-mail: teplosnab_kaf@vgasu.vrn.ru*

Постановка задачи. Решение задач оптимизации трасс тепловых сетей предполагает определение критериев оптимальности, по которым будут сравниваться те или иные варианты трассировки. В связи с этим, возрастает актуальность изучения возможных параметров тепловой сети и их взаимосвязь, которые в дальнейшем могут применяться в качестве критериев оптимальности.

Результаты и выводы. В статье проведено численное исследование материальных характеристик тепловых сетей и моментов тепловой нагрузки в зависимости от их конфигурации при равномерном распределении тепловой нагрузки. Выявлено, что зависимость, в соответствии с которой можно сказать, что момент тепловой нагрузки, в какой либо степени, зависит от материальной характеристики, не найдена, и данные параметры необходимо рассматривать как обособленные.

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

Введение. В работах [1, 2] исследовались существующие зависимости для определения материальной характеристики тепловой сети при равномерном и не равномерном распределении тепловой нагрузки в районах строительства. Известно, что значение материальной характеристики тепловой сети отражает величину капитальных затрат на строительство данной сети [3], определяемую в данном случае по формуле:

$$K_{m.c} = a \sum_{i=1}^n l_i + bM = a \sum_{i=1}^n l_i + b \sum_{i=1}^n D_{вн} l_i \rightarrow \min \quad (1)$$

где a и b – постоянные коэффициенты, зависящие от типа и конструкции тепловой сети; M – материальная характеристика тепловой сети; $D_{вн}$ – внутренний диаметр трубопровода на участке тепловой сети; l – длина участка тепловой сети; n – количество участков тепловой сети.

$$M = E \cdot G^{0,38} \cdot l, \quad (2)$$

где G – расход теплоносителя в магистрали; E – поправочный коэффициент.

Если принять во внимание, что сама материальная характеристика – это аналог затрат, а присоединенная тепловая нагрузка – аналог эффектов, то чем меньше удельная материальная характеристика, тем результативней процесс централизованного теплоснабжения [4].

В работе [4] отмечается, что для учета неравномерности тепловой нагрузки, распределенной в зоне действия был предложен другой показатель, основанный на рассмотрении тепловых нагрузок как сосредоточенных в точках их присоединения к тепловым сетям. Этот параметр получил оборота тепла. Данный параметр был обоснован тем, что с точки зрения транспортировки каждая точечная тепловая нагрузка характеризуется двумя величинами: расчетной тепловой нагрузкой Q_{pi} и расстоянием от источника тепла до точки ее присоединения, принятой по трассе тепловой сети (по вектору расстояния от точки до точки) l_i . Произведение этих величин, Z_i , получило название момента тепловой нагрузки относительно источника теплоснабжения [4].

Чем больше величина момента тепловой нагрузки, тем больше должна быть материальная характеристика тепловой сети. Для тепловых сетей с количеством абонентов n больше единицы характерной является величина суммы моментов тепловых нагрузок, которая определяется по формуле:

$$Z_T = \sum Z_i = \sum (Q_{pi} \times l_i). \quad (3)$$

Эта величина названа теоретическим оборотом тепла для заданного расположения абонентов относительно источника теплоснабжения [4].

Если произведен выбор трассы сети и ее конфигурации, то можно конкретизировать расчет оборота тепла, приняв в качестве длин не лучи, соединяющие источник с потребителем, а расстояния по трассе. Так как это расстояние всегда больше, чем вектор, то оборот тепла по конкретной трассе Z_C всегда больше теоретического оборота тепла Z_T .

Как уже отмечалось ранее, предполагается, что чем больше величина момента тепловой нагрузки, тем больше должна быть материальная характеристика тепловой сети, а их зависимость выражается степенным законом $Z_i \rightarrow Q^{0,38}$ [4]. Однако, поскольку, приведенные зависимости по определению материальной характеристики тепловой сети справедливы для равномерного распределения тепловой нагрузки, а зависимости оборота теплоты позиционируются, как способные учесть данную неравномерность, данная закономерность нуждается в подтверждении. Что и является основной задачей данной работы.

1. Численное исследование материальных характеристик тепловых сетей. В ходе исследования было проведено численное моделирование изменения значений материальных характеристик тепловых сетей при различной конфигурации трассы (рис. 1, 2).

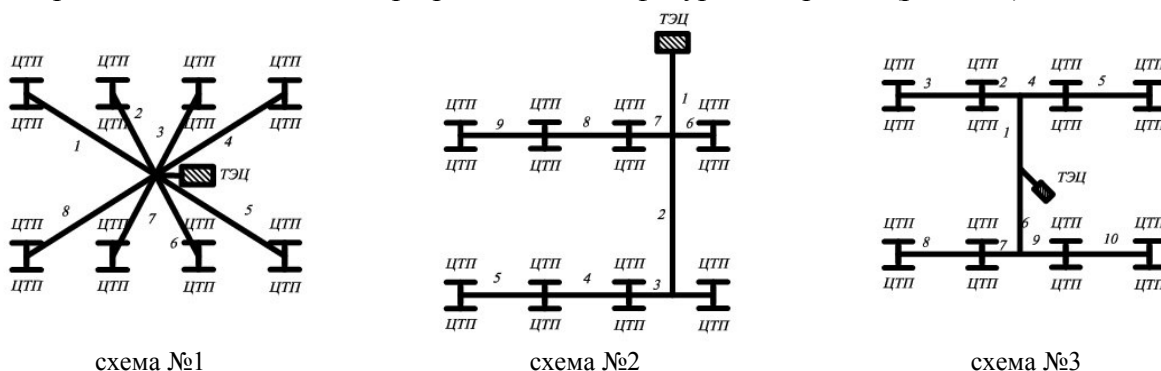


Рис. 1. Расчетные схемы трассировки тепловой сети №1-3

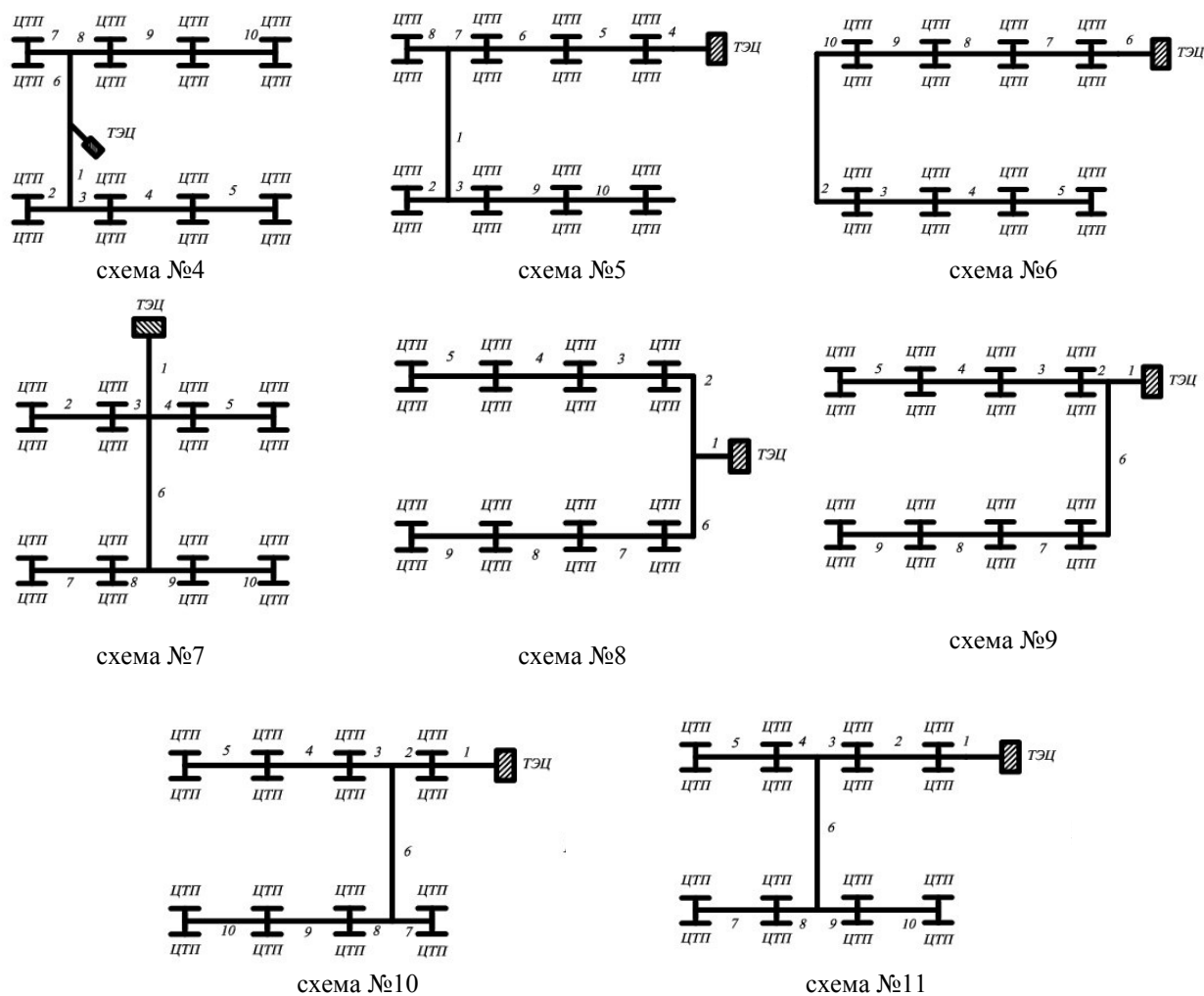


Рис. 2. Расчетные схемы трассировки тепловой сети № 4-11

В таблице 1 приведены результаты расчета материальной характеристики тепловых сетей, полученные с помощью применения зависимости (3).

Таблица 1

Результаты расчета материальных характеристик

Схема	№ уч.	L, м	G _{уч}	M	ΣM	Схема	№ уч.	L, м	G _{уч.}	M	ΣM	
1	1	303,0	36,4	62,94	398,004	2	1	171,3	291,2	78,41	428,815	
	2	176,0	36,4	36,56			2	324,5	145,2	114,03		
	3	176,0	36,4	36,56			3	88,3	109,2	27,85		
	4	303,0	36,4	62,94			4	171,0	72,8	46,27		
	5	303,0	36,4	62,94			5	171,0	36,4	35,52		
	6	176,0	36,4	36,56			6	82,7	36,4	17,18		
	7	176,0	36,4	36,56			7	88,3	109,2	27,85		
	8	303,0	36,4	62,94			8	171,0	72,8	46,23		
	-	-	-	-			-	9	171,0	36,4		35,52
	-	-	-	-			-	-	-	-		-

Продолжение таблицы 1

3	1	158,6	145,6	55,79	317,6	4	1	173,5	145,6	61,03	365,971
	2	77,6	72,8	20,97			2	87,9	36,4	18,26	
	3	171,0	36,4	35,52			3	83,1	109,2	26,21	
	4	93,4	72,8	25,25			4	171,0	72,8	46,13	
	5	171,0	36,4	35,52			5	171,0	36,4	35,52	
	6	173,7	145,6	27,29			6	150,3	145,6	52,89	
	7	77,6	72,8	20,97			7	87,9	36,4	18,26	
	8	171,0	36,4	35,52			8	83,1	109,2	26,02	
	9	93,4	72,8	25,25			9	171,0	72,8	46,13	
	10	171,0	36,4	35,52			10	171,0	36,4	35,52	
5	1	324,5	145,6	114,15	496,849	6	1	324,5	145,6	114,15	583,689
	2	88,1	36,4	18,29			2	88,5	145,6	31,12	
	3	82,9	109,2	26,16			3	171,0	109,2	53,93	
	4	134,4	291,2	61,55			4	171,0	72,8	46,23	
	5	171,0	254,8	74,41			5	171,0	36,4	35,52	
	6	171,0	218,4	70,18			6	134,4	291,2	61,55	
	7	82,9	182,0	31,77			7	171,0	254,8	74,41	
	8	88,1	36,4	18,29			8	171,0	218,4	70,18	
	9	171,0	72,8	46,23			9	171,0	182,0	65,48	
	10	171,0	36,4	35,52			10	88,5	145,6	31,12	
7	1	171,0	291,2	78,28	426,797	8	1	75,0	291,2	34,33	390,812
	2	171,0	36,4	35,52			2	121,0	145,6	42,57	
	3	85,5	72,8	23,11			3	171,0	109,2	53,93	
	4	85,5	72,8	23,11			4	171,0	72,8	46,23	
	5	171,0	36,4	35,52			5	171,0	36,4	35,52	
	6	324,0	145,6	113,98			6	121,0	145,6	42,57	
	7	171,0	36,4	35,52			7	171,0	109,2	53,93	
	8	85,5	72,8	23,11			8	171,0	72,8	42,57	
	9	85,5	72,8	23,11			9	171,0	36,4	35,52	
	10	171,0	36,4	35,52			-	-	-	-	
9	1	75,0	291,2	34,33	461,169	10	1	134,0	291,2	61,34	447,708
	2	59,0	145,6	20,76			2	85,5	254,8	37,21	
	3	171,0	109,2	53,93			3	85,5	109,0	26,96	
	4	171,0	72,8	46,23			4	171,0	72,8	46,23	
	5	171,0	36,4	35,52			5	171,0	36,4	35,52	
	6	383,0	145,6	131,73			6	324,0	145,6	113,98	
	7	171,0	109,2	53,93			7	85,5	36,4	17,76	
	8	171,0	72,8	46,23			8	85,5	109,2	26,96	
	9	171,0	36,4	35,52			9	171,0	72,8	46,23	
	-	-	-	-			10	171,0	36,4	35,52	
11	1	134,0	291,2	61,34	460,721	-	-	-	-	-	
	2	171,0	254,8	74,41		-	-	-	-	-	
	3	85,5	218,4	35,09		-	-	-	-	-	
	4	85,5	72,8	23,11		-	-	-	-	-	
	5	171,0	36,4	35,52		-	-	-	-	-	
	6	324,0	145,6	113,98		-	-	-	-	-	
	7	171,0	36,4	35,52		-	-	-	-	-	

Окончание таблицы 1

	8	85,5	72,8	23,11		-	-	-	-	-	-
	9	85,5	72,8	23,11		-	-	-	-	-	-
	10	171,0	36,4	35,52		-	-	-	-	-	-

2. Численное исследование момента тепловой нагрузки. Численное моделирование изменения значений моментов тепловой нагрузки так же осуществлялось для схем трассировки приведенных на рисунке. В таблице 2 приведены результаты расчета моментов тепловой нагрузки, полученные с помощью применения зависимости (3).

Таблица 2

Результаты расчета теоретического момента тепловой нагрузки

Схема	№ уч	$l_i, \text{м}$	$Q_i, \text{МВт}$	Z	ΣZ	Схема	№ уч	$l_i, \text{м}$	$Q_i, \text{МВт}$	Z	ΣZ
1	1	303,0	3,64	1102,9	7072,5	7	1	302	3,64	1099,3	11269,4
	2	176,0		640,6			2	188		684,3	
	3	176,0		640,6			3	188		684,3	
	4	303,0		1102,9			4	302		1099,3	
	5	315,0		1146,6			5	555		2020,2	
	6	176,0		640,6			6	503		1830,9	
	7	191,0		695,2			7	503		1830,9	
	8	303,0		1102,9			8	555		2020,2	
2	1	190,9	3,64	694,8	12316,7	8	1	211	3,64	768,0	12572,5
	2	192,7		701,5			2	346		1259,4	
	3	311,2		1132,6			3	503		1830,9	
	4	463,4		1686,8			4	667		2427,9	
	5	657,0		2391,5			5	211		768,0	
	6	559,5		2036,6			6	346		1259,4	
	7	506,4		1843,4			7	503		1830,9	
	8	502,6		1829,5			8	667		2427,9	
3	1	176,0	3,64	640,64	7077,6	9	1	134	3,64	487,8	13318,7
	2	303,0		1102,9			2	305		1110,2	
	3	303,0		1101,8			3	476		1732,6	
	4	176,0		641,7			4	647		2355,1	
	5	176,0		640,6			5	351		1277,6	
	6	315,0		1148,8			6	446		1623,4	
	7	191,0		698,2			7	576		2096,6	
	8	303,0		1102,9			8	724		2635,4	
4	1	185,4	3,64	674,9	8195,9	10	1	134	3,64	487,8	13318,7
	2	182,5		664,3			2	305		1110,2	
	3	301,6		1097,8			3	476		1732,6	
	4	455,3		1657,8			4	647		2355,1	
	5	183,7		668,7			5	351		1277,6	
	6	181,4		660,3			6	446		1623,4	
	7	300,9		1095,3			7	576		2096,6	
	8	460,8		1677,3			8	724		2635,4	

Окончание таблицы 2

5	1	134,4	3,64	489,2	13328,6	11	1	134	3,64	487,8	13318,7
	2	305,4		1111,7			2	305		1110,2	
	3	476,4		1734,1			3	476		1732,6	
	4	647,4		2356,5			4	647		2355,1	
	5	724,5		2637,2			5	351		1277,6	
	6	576,8		2099,6			6	446		1623,4	
	7	445,6		1621,9			7	576		2096,6	
	8	351,2		1278,4			8	724		2635,4	
6	1	134,4	3,64	489,2	13328,6	-	-	-	-	-	-
	2	305,4		1111,7		-	-	-	-	-	
	3	476,4		1734,1		-	-	-	-	-	
	4	647,4		2356,5		-	-	-	-	-	
	5	724,5		2637,2		-	-	-	-	-	
	6	576,8		2099,6		-	-	-	-	-	
	7	445,6		1621,9		-	-	-	-	-	
	8	351,2		1278,4		-	-	-	-	-	

Фактическое значение момента тепловой нагрузки определялось по формуле:

$$Z_{\phi} = \sum Z_i = \sum (Q_{pi} \times l_{\phi}), \quad (4)$$

где l_{ϕ} – фактическое расстояние от источника тепла до абонента.

В таблице 3 приведены результаты расчета моментов тепловой нагрузки, полученные с помощью применения зависимости (4).

Таблица 3

Результаты расчета фактического момента тепловой нагрузки

Схе- ма	№ уч	$L_{\phi i}$, м	Q_i , МВт	Z_{ϕ}	$\sum Z_{\phi}$	Схема	№ уч	$L_{\phi i}$, м	Q_i , МВт	Z_{ϕ}	$\sum Z_{\phi}$
1	1	303,0	3,64	1102,9	6974,2	7	1	435,0	3,64	1583,4	14894,8
	2	176,0		640,6			2	264,0		960,9	
	3	176,0		640,6			3	264,0		960,9	
	4	303,0		1102,9			4	435,0		1583,4	
	5	303,0		1102,92			5	759,0		2762,8	
	6	176,0		640,64			6	588,0		2140,3	
	7	176,0		640,64			7	588,0		2140,3	
	8	303,0		1102,92			8	759,0		2762,8	
2	1	253,9	3,64	924,3	16090,3	8	1	296,0	3,64	1077,4	16154,3
	2	270,5		984,6			2	467,0		1732,6	
	3	441,5		1607,06			3	638,0		2322,3	
	4	612,5		2229,5			4	809,0		2944,8	
	5	925,5		3368,8			5	296,0		1077,4	
	6	754,5		2746,4			6	467,0		1732,6	
	7	583,5		2123,9			7	638,0		2322,3	
	8	578,5		2105,7			8	809,0		2944,8	
3	1	227,9	3,64	829,6	9704,2	9	1	134,0	3,64	487,8	16088,8
	2	398,9		1451,9			2	305,0		1110,2	

Окончание таблицы 3

	3	414,7		1509,5			3	476,0		1732,6	
	4	243,7		887,07			4	647,0		2355,1	
	5	267,6		974,06			5	458,0		1667,1	
	6	438,6		1596,5			6	629,0		2289,6	
	7	251,8		916,6			7	800,0		2912,0	
	8	422,8		1538,9			8	971,0		3534,4	
4	1	251,1	3,64	914,0	10941,8	10	1	134,0	3,64	487,8	16685,7
	2	247,9		902,4			2	305,0		1110,2	
	3	418,9		1524,8			3	476,0		1732,6	
	4	589,9		2147,2			4	647,0		2355,1	
	5	249,9		909,6			5	622,0		2264,1	
	6	245,1		892,2			6	329,0		2289,6	
	7	416,1		1514,6			7	800,0		2912,0	
	8	587,1		2137,0			8	971,0		3534,4	
5	1	134,4	3,64	489,2	21653,9	11	1	134,0	3,64	487,8	18578,5
	2	305,4		1111,7			2	305,0		1110,2	
	3	476,4		1734,1			3	476,0		1732,6	
	4	647,4		2356,5			4	647,0		2355,1	
	5	971,9		3537,7			5	971,0		3534,4	
	6	966,8		3519,2			6	800,0		2912,0	
	7	1137,8		4141,6			7	800,0		2912,0	
	8	1308,8		4764,0			8	971,0		3534,4	
6	1	134,4	3,64	489,2	26631,4	-	-	-	-	-	-
	2	305,4		1111,7		-	-	-	-	-	-
	3	476,4		1734,1		-	-	-	-	-	-
	4	647,4		2356,5		-	-	-	-	-	-
	5	1148,9		4181,9		-	-	-	-	-	-
	6	1408,4		5126,6		-	-	-	-	-	-
	7	1579,4		5749,1		-	-	-	-	-	-
	8	1750,4		6371,5		-	-	-	-	-	-

Вывод. Согласно приведенному выше численному исследованию, утверждение, которое говорит о том, что, чем больше величина момента тепловой нагрузки, тем больше должна быть материальная характеристика тепловой сети не подтверждается. Анализ данных, приведенных в таблицах 1, 2, 3 показывает, что наиболее оптимальная схема №3 по параметру материальной характеристики (рис. 1, 2), не является таковой по параметрам теоретического и фактического момента тепловой нагрузки (по которым наиболее оптимальной является схема №1). Соотношение оптимальности других схем так же зачастую не соответствует упомянутому утверждению. Таким образом, зависимость, в соответствии с которой можно сказать, что момент тепловой нагрузки, в какой либо степени, зависит от материальной характеристики, не найдена, и данные параметры необходимо рассматривать как обособленные.

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. **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.

3. **Мелькумов, В. Н.** Критерии оптимальности и условия сравнения проектных решений систем теплоснабжения / В. Н. Мелькумов, К. А. Скляр, С. Г. Тульская, А. А. Чуйкина // Научный журнал строительства и архитектуры. – 2017. – №4(48). – С. 29-37.

4. **Папушкин В. Н.** Радиус теплоснабжения. Хорошо забытое старое / В. Н. Папушкин // Новости теплоснабжения. – 2010. – №9. – С. 44-49.

5. **Соколов, Е. Я.** Теплофикация и тепловые сети / Е. Я. Соколов. – М.: МЭИ, 2001. – 472 с.

6. **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.

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. **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. – №2(28). – С. 33-40.

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

10. **Колосов, А. И.** Анализ задач разработки модели восстановления систем теплогазоснабжения в условиях чрезвычайных ситуаций / А. И. Колосов // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Инженерные системы зданий и сооружений. – 2005. – № 2. – С. 29-32.

STUDY OF THE RELATIONSHIP OF THE MATERIAL CHARACTERISTICS OF THE HEAT NETWORK AND HEAT LOAD TIME

A. A. Chuykina, A. R. Bohan, K. A. Grigorieva

Voronezh State Technical University

A. A. Chuykina, Ph. D. student of Dept. of Heat and Gas Supply and oil and gas business

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

A. R. Bohan, student of Dept. of Heat and Gas Supply and oil and gas business

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

K. A. Grigorieva student of Dept. of Heat and Gas Supply and oil and Gas business

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

Statement of the problem. The decision of problems of optimization runs of heating networks involves the determination of the optimality criteria against which to compare the different options of the trace. In this regard, the urgency of studying the possible parameters of the heat network and their relationship, which can be further used as criteria of optimality, increases.

Results and conclusions. The article presents a numerical study of the material characteristics of heat networks and moments of heat load depending on their configuration with a uniform distribution of heat load. It is revealed that the dependence, according to which we can say that the moment of the thermal load, to some extent, depends on the material characteristics, is not found, and these parameters must be considered as separate.

Keywords: heating, piping design, material characteristics of thermal networks, the distribution of the heat load, the time of heat stress.

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

For citation: Chuykina A. A. Study of the relationship of the material characteristics of the heat network and heat load time / A.A. Chuykina, A.R. Bohan, K.A. Grigorieva // Gradostroitelstvo. Infrastruktura. Kommunikatsii. – 2018. – № 4 (13). – Pp. 9–16.

УДК 622.691.4

РАСЧЕТ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ГАЗОПЕРЕКАЧИВАЮЩЕГО АГРЕГАТА ТИПА ГТК-25ИР ОТ ФИРМЫ «НУОВО-ПИНЬОНЕ»

А. М. Худяков, Н. В. Плохих, Н. В. Колосова

*Воронежский государственный технический университет**А. М. Худяков, студент факультета инженерных систем и сооружений**Россия, г. Воронеж, тел.: +7 (908) 131-01-81, e-mail: khudyakov.mikhail@inbox.ru**Н. В. Плохих, студентка факультета инженерных систем и сооружений**Россия, г. Воронеж, тел.: +7 (951) 857-05-64, e-mail: plokhikh.nat84@gmail.com**Н. В. Колосова, старший преподаватель кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела**Россия, г. Воронеж, тел.: +7 (473) 271-53-21, e-mail: kolosnv@yandex.ru*

Постановка задачи. Рассмотрена технология прогнозирования отказов от фирмы «Нуово-Пиньоне» для газоперекачивающего агрегата типа ГТК-25ИР. Для этого предложена методика расчета напряженно-деформированного состояния элементов двигателя, несущей способности и запасов прочности, а также остаточного ресурса.

Результаты и выводы. При использовании рассмотренной технологии, возможно своевременно прогнозировать отказ в работе газоперекачивающего агрегата типа ГТК-25ИР, а также предотвратить возможные аварии на данной машине.

Ключевые слова: прогнозирование отказов, газоперекачивающий агрегат, газотурбинный двигатель.

Введение. Транспортировка природного газа невозможна без эффективной работы газоперекачивающих агрегатов (ГПА). Насчитывается огромное количество ГПА различного типа, мощности и конструкции. Основным направлением развития и оптимизации работы ГПА является повышение надежности.

Надежность - это один из основных показателей качества изделия, проявляется во времени и отражающий изменения, происходящие в двигателе на протяжении всего периода его эксплуатации. Надежность как свойство изделия закладывается на этапе проектирования, реализуется при изготовлении и поддерживается в процессе эксплуатации. Следует всегда иметь в виду, что качественно проработанный проект является основой надежности будущего изделия.

Поведение реальных конструкций обусловлено взаимодействием целого ряда факторов, имеющих явно выраженный случайный характер. В связи с этим определение надежности конструкций невозможно без применения методов теории вероятностей и математической статистики.

На основе физики возникновения отказы деталей двигателя могут быть разбиты на две группы:

1. Внезапные отказы, показывающие характер случайного выброса:

- хрупкое разрушение;

- превышение предела текучести, в какой-либо точке детали, для которой остаточные деформации недопустимы;

- возникновение слишком больших упругих деформаций.

2. Постепенные отказы, возникающие в результате необратимого накопления повреждений в детали:

-пластические деформации (деформации ползучести);

-усталостные повреждения, ведущие к развитию усталостных трещин.

Таким образом, при оценке надежности деталей стационарных двигателей необходимо учитывать, внезапные и постепенные отказы.

В данной статье рассмотрена технология прогнозирования отказов от фирмы «Нуово-Пиньоне» для ГПА типа ГТК-25ИР. Для этого произведем расчет напряженно-деформированного состояния элементов двигателя, несущей способности и запасов прочности, а также расчет остаточного ресурса [1, 2, 3].

1. Расчет напряженно-деформированного состояния элементов двигателя, несущей способности и запасов прочности. Для всесторонне обоснованной оценки остаточного ресурса деталей газотурбинного двигателя (ГТД) необходимо выполнить полный комплекс расчетов на прочность, включающий следующие этапы:

- определение запасов по несущей способности;
- расчеты напряженно-деформированного состояния (НДС) согласно ГОСТ Р 52330 в объемной и, при необходимости, плоской постановках;
- определение запасов прочности по номинальным и локальным напряжениям;
- оценку циклической долговечности по условиям малоциклового усталости;
- оценку циклического ресурса по подрастанию дефекта до критических размеров.

При определении запасов по длительной прочности на прогнозируемый ресурс в качестве основного расчетного режима необходимо использовать режим номинальной мощности ГТД.

2. Диски турбины высокого давления (ТВД). Напряжения и запасы прочности в елочных замках определяются при номинальной частоте вращения от действия центробежных сил, включающих следующие компоненты: нагрузку от лопатки, двух вставок и стопорной пластины; а также нагрузку от межпазового выступа диска.

Расчеты необходимо проводить по методике расчета на прочность замков турбинных лопаток с дополнительной проверкой соответствия запасов прочности согласно требованиям РТМ 108.022.102077. Основными допущениями, реализуемыми при расчете, являются:

- усилия в зацеплении, направленные по нормали к площадкам контакта;
- контактные давления, распределяемые по зубьям равномерно.

Для зубьев зацепления согласно методике, определяются напряжения среза τ_{cp} и изгиба σ_u в опасном сечении, проведенном параллельно линии зацепления по краю геометрической площадки контакта, а также напряжения смятия σ_{cm} на указанной площадке.

Запасы прочности в элементах замковых соединений подсчитываются как отношение:

$$K_B = \frac{\sigma_{\tau}^t}{\sigma_{np}}, \quad (1)$$

где σ_{τ}^t – предел длительной прочности; σ_{np} – величина приведенного напряжения, определяемая в опасных сечениях следующим выражением:

$$\sigma_{np} = \sqrt{\sigma_p^2 + \frac{4}{9}\sigma_u^2 + 3\tau_{cp}^2}, \quad (2)$$

где σ_p – напряжение, возникающее от действия сил растяжения.

Прочность замков проверяется также и по РТМ 108.022.102077, при этом величины запасов подсчитываются от действия каждого силового фактора в отдельности:

$$n_{\sigma} = \frac{\sigma_{B,\tau}^t}{\sigma_p}; n_{\sigma}^{cm} = \frac{\sigma_{B,\tau}^t}{\sigma_{cm}}; n_{\tau} = \frac{\sigma_{B,\tau}^t}{\sqrt{3}\tau_{cp}}; n_{\sigma}^u = \frac{\sigma_{B,\tau}^t}{\sigma_u}, \quad (3)$$

где $\sigma_{B,\tau}^t$ – предел длительной прочности.

При этом напряжения среза τ_{cp} в зубьях, в отличие от положений методики, определяются для сечений по краю площадки контакта, проходящих параллельно радиальной оси хвостовика, а изгиба σ_u – для сечений по основанию зубьев.

Запас по несущей способности диска определяется как отношение:

$$K_B^0 = \frac{\omega_{разр}}{\omega}, \quad (4)$$

где $\omega_{разр}$ – разрушающая частота вращения; ω – номинальная частота вращения.

Расчет запаса K_B^0 проводится методом предельного равновесия с использованием характеристик длительной прочности материала при последовательном введении пластических шарниров в меридиональном и цилиндрических сечениях диска, в том числе по отверстиям для стяжных болтов. Эффект подкрепления диска присоединенными оболочками ротора не учитывается.

Оценка запасов прочности диска ТВД включает также расчет номинальных напряжений (по схеме «тонкого диска») соответственно от действия центробежных сил (σ_r, ω_θ) и перепада температур ($\sigma_{r,\theta}^t$) вдоль радиуса. При этом запас по напряжениям n_B определяется как отношение:

$$n_B = \frac{\sigma_{2 \cdot 10^5}^t}{\sigma_{max}}, \quad (5)$$

где $\sigma_{max} = \max(\sigma_r, \sigma_\theta)$ – максимальное из напряжений, действующих в радиальном σ_r или тангенциальном σ_θ направлении; $\sigma_{2 \cdot 10^5}^t$ – предел длительной прочности на базе 200 000 ч.

Окончательное суждение о ресурсе диска возможно лишь по результатам оценок местной прочности в зонах концентрации напряжений,

Уточненные расчеты НДС диска проводятся на объемных конечно-элементных моделях с применением пакетов конечно-элементного анализа. Упругий расчет НДС проводится при суммарном воздействии инерционных сил диска и температурного поля.

Определяется НДС для уточнения расчета при наличии контактного взаимодействия в замковом соединении.

Упругопластический расчет замкового соединения проводится с учетом ползучести при использовании изохронных кривых для материала диска.

3. Корпус турбины. В качестве основных нагрузок для кожуха ТВД рассматриваются следующие:

- избыточное давление продуктов сгорания, изменяющееся вдоль проточной части турбины;
- осевое растягивающее усилие, действующее на передний фланец со стороны жарового узла;
- усилия и моменты, приходящие от присоединенных элементов проточной части.

Оценка несущей способности кожуха турбины сводится к расчетной схеме цилиндрической оболочки, нагруженной внутренним давлением, по ОСТ 108.020.132 и ОСТ 108.210.01. Приведенное напряжение в оболочке определяется формулой

$$\sigma_{np} \leq \frac{p[D + (s - c)]}{2\varphi(s - c)}, \quad (6)$$

где p – величина внутреннего давления; D – диаметр оболочки; s – толщина оболочки; $\varphi = 1,0$ – коэффициент прочности для случая укрепленных отверстий; $c \leq 1,5$ мм – утонение

стенки, связанное с литейными отступлениями и коррозионным воздействием продуктов сгорания природного газа.

Дополнительно необходимо выполнить уточненный расчет с применением метода конечных элементов.

Оценка НДС элементов статора производится с использованием стандартного пакета прикладных программ «Ansys» на основе конечно-элементной объемной модели.

Нагружение модели осуществляется путем приложения избыточного давления по внутренней поверхности кожуха и внешней поверхности диафрагмы с учетом распределения расчетных давлений в проточной части и внутренних полостях турбины, по торцу переднего фланца модели корпуса прикладывается суммарное растягивающее усилие в виде нагрузки, равномерно распределенной в окружном направлении и по линейному закону вдоль радиуса, убывающей до нуля на внешнем контуре фланца (треугольная эпюра позволяет снизить меридиональный изгиб оболочки кожуха, отсутствующий при достаточной затяжке фланцевого соединения). Плоскость переднего торца диафрагмы нагружается распределенным давлением, соответствующим осевому усилию.

Упругопластические расчеты кожуха ТВД проводятся с учетом ползучести материала в два этапа: после наработки, когда в кожухе предположительно возникают первичные трещины, и вплоть до прогнозируемого ресурса основных узлов ГТД.

В расчетах используют изохронные кривые ползучести. При этом с некоторым запасом материал считается изотропным и соответствующим условию пластичности Мизеса при одинаковых законах упрочнения для растяжения и сжатия.

Местная прочность оценивается коэффициентом запаса по формуле

$$n_{B,ДЛ} = \frac{\sigma_{B,ДЛ}^t}{\sigma_{max}}, \quad (7)$$

где $\sigma_{B,ДЛ}^t$ – предел длительной прочности; $\sigma_{max} = \max(\sigma_{\text{экв}}; \sigma_1; |\sigma_3|)$ – наибольшая (по модулю) из характерных величин: эквивалентного – $\sigma_{\text{экв}}$, максимального – σ_1 или минимального – σ_3 главного напряжения, полученных из упругопластического расчета конструкции с имеющимися концентраторами напряжений.

4. Расчет остаточного ресурса. Расчет остаточного ресурса проводится с использованием стандартного пакета конечно-элементного анализа типа «Ansys» или аналогичного. При определении параметров НДС в i -м цикле нагружения используются следующие допущения общего характера:

- максимальные значения напряжения и деформации в цикле достигаются на установившихся режимах, в данном случае – при работе на номинальной мощности и после останова;
- материал деталей циклически стабилен и диаграммы циклического деформирования подобны диаграммам однократного деформирования (принцип Мазинга);
- циклическое нагружение для рассматриваемых случаев преобладания нагрузок одного вида считается простым, т.е. соотношения между компонентами тензора девиатора напряженного состояния сохраняются неизменными по ходу цикла и для расчета размахов напряжений, деформаций и соответствующих эквивалентных величин допускается использовать деформационную теорию пластичности;
- условием эквивалентности параметров циклического нагружения при сложном НДС одноосному растяжению-сжатию, вплоть до образования макротрещины МЦУ являются эквивалентные напряжения $\sigma_{\text{экв}}$, деформации $\varepsilon_{\text{экв}}$ и их размахи $\Delta\sigma_{\text{экв}}$, $\Delta\varepsilon_{\text{экв}}$, соответствующие критерию пластичности Хубера–Мизеса, которые далее именуются интенсивностями напряжений $\sigma_i = \sigma_{\text{экв}}$, деформаций $\varepsilon_i = \varepsilon_{\text{экв}}$ и их размахов $\Delta\sigma_i = \Delta\sigma_{\text{экв}}$, $\Delta\varepsilon_i = \Delta\varepsilon_{\text{экв}}$. Знак интенсивности принимается соответствующим знаком главного напряжения, наибольшего по абсолютной величине;

- подрастание трещины МЦУ или исходного дефекта, не выявленного существующими методами контроля, происходит перпендикулярно линии действия максимального главного напряжения при циклическом нагружении с размахом $\Delta\sigma_l > 0$, т.е. при оценке остаточной долговечности деталей в расчет принимается только положительная часть размаха напряжений в цикле.

Расчет ресурса проводится в два этапа:

- оценка циклической долговечности по условиям МЦУ;
- оценка циклического ресурса по схеме подрастания дефекта.

Определение предельного числа циклов N_{TP} пуска-останова ГТД до образования макротрещины производится по экспериментальным кривым МЦУ или по модифицированной формуле Мэнсона:

$$\Delta\varepsilon = \left(\ln \frac{1}{1 - \psi_\tau^t} - \varepsilon_{\max}^{nl} \right)^{0,6} N_{TP}^{-0,6} + \frac{3,5}{E_l} (\sigma_\tau^t - \sigma_m) N_{TP}^{-0,12}, \quad (8)$$

где σ_τ^t – длительная прочность материала; ψ_τ^t – длительная (или минимальная в цикле) пластичность материала; $\varepsilon_{i \max}^{nl}$ – максимальная (положительная) пластическая деформация, накопленная в процессе циклического нагружения; $\Delta\varepsilon$ – размах продольной деформации гладкого образца при одноосном растяжении-сжатии; σ_m – среднее напряжение цикла.

Значение N_{TP} , полученное в результате расчета на МЦУ устанавливает число циклов до образования макротрещины глубиной $l_0 = 0,5 \dots 1,0$ мм. Полная циклическая долговечность детали до разрушения N_p определяется последующим подрастанием дефекта до трещины l_{kp} критических размеров:

$$N_p = N_{TP} + \Delta N_{TP}. \quad (9)$$

В случае остановки трещины с размером $l < l_{kp}$ катастрофического разрушения детали не происходит, и тогда подсчитывают число циклов на развитие дефекта:

$$N_{TP\Sigma} = N_{TP} + \Delta N_{TP}. \quad (10)$$

В качестве характеристики трещиностойкости материала используется величина коэффициента интенсивности напряжений K_1 для трещины нормального отрыва:

$$K_1 = \sigma_1 \sqrt{l \cdot M}, \quad (11)$$

где M – функция, зависящая от формы трещины, ее расположения относительно поверхности и уровня напряженности материала.

Критический размер трещины l_{kp} вычисляется из условия равенства коэффициента интенсивности напряжений и вязкости разрушения K_{1c} :

$$l_{kp} = \frac{1}{M} \left(\frac{K_{1c}}{\sigma_1} \right)^2. \quad (12)$$

Аналогично размах коэффициента интенсивности напряжений определяется выражением:

$$\Delta K_1 = \Delta \sigma_1 \cdot \sqrt{l \cdot M}. \quad (13)$$

Число циклов ΔN_{jj+1} , необходимое для подрастания дефекта на величину $\Delta l_{j+1} = l_{j+1} - l_j$, следует как результат интегрирования уравнения Париса:

$$\Delta N_{jj+1} = \frac{2 \left[\left(\frac{1}{l_j} \right)^{\frac{n-2}{2}} - \left(\frac{1}{l_{j+1}} \right)^{\frac{n-2}{2}} \right]}{C(n-2)(\Delta \sigma_{jj+1} \sqrt{M})^n}, \quad (14)$$

где n – показатель степени, зависящий от свойств материала; значение $\Delta \sigma_{jj+1}$ на рассматриваемом этапе роста трещины принимается постоянным.

Формула (14) широко используется, если в направлении роста трещины имеет место значительный градиент напряжений. Определение $N_{кр}$ производится поэтапно и заканчивается, когда для суммарной длины трещины $\sum \Delta l_{j,j+1}$ выполняется условие $K_1 = K_{1c}$:

$$N_{кр} = \sum_{j=0}^{\kappa} \Delta N_{jj+1}. \quad (15)$$

Циклический ресурс детали определяется выражением:

$$[N] = \frac{N_{TP}}{K_N} + \frac{N_{кр}}{K_{кр}}, \quad (16)$$

где $K_N = K_{кр} = 5$ – коэффициенты запаса для случая надежных данных по трещиностойкости материала и $K_{кр} = 10$ – в противоположном случае.

5. Заключительная часть работ. При положительных результатах технического диагностирования ресурс ГТД типа MS5002 увеличивается в индивидуальном порядке с учетом наработки, фактического технического состояния, а также результатов оценки прочности деталей и узлов двигателя, в частности оценки:

- уточненного НДС;
- несущей способности;
- ресурса по длительной прочности;
- ресурса по МЦУ;
- ресурса по подрастанию выявленных и вероятных дефектов;
- учета накопленной в процессе эксплуатации повреждаемости металла;
- изменения физико-механических свойств металла;
- других критериев прочности, а также по результатам анализа выполнения рекомендованного объема ремонтно-восстановительных работ и обследования технического состояния.

Продление ресурса узлов и деталей возможно только при соответствии требованиям норм прочности корпусов турбомашин либо при расчетном и экспериментальном обосновании их прочности и надежности [4-10].

Вывод. В связи с расчетом по данной технологии можно утверждать, что при использовании её в качестве основного расчета на отказ, мы можем своевременно прогнозировать отказ, а также предотвратить возможные аварии на данной машине. Экономический эффект в данном случае достигается за счет уменьшения дополнительных затрат на ремонт ГПА.

Библиографический список

1. Инструкция по оценке технического состояния и определению дополнительного ресурса ГТД ГПА типа MS5002 ф. «Нуово-Пиньоне»: Р Газпром 2-2.3-291-2009. – М.: ОАО «Газпром», 2009. – 110с.

2. **Сайгин, В. В.** Инструкция по устройству и эксплуатации ГПА ГТК-25ИР КС Давыдовская / В. В. Сайгин. – Моршанск, 2010. – 70 с.
3. **Гремяченская, М. А.** Технично-экономическое обоснование проектных решений в нефтегазовой сфере: учеб. пособие / М. А. Гремяченская, И. В. Рошупкина. – Воронеж: ВГТУ, 2011. – 103 с.
4. **Петров, С. В.** Надёжность эксплуатации газоперекачивающих агрегатов. Лабораторные и практические работы: метод. указания / С. В. Петров – Ухта: УГТУ, 2014. – 26 с.
5. **Рудаков, И. А.** Инструкция по охране труда для машиниста технологических компрессоров (ГТК-25ИР) / И. А. Рудаков. – Моршанск – 2014. – 11 с.
6. **Рудаков, И. А.** Технологический регламент на эксплуатацию компрессорного цеха №1 «Уренгой-Ужгород» КС «Давыдовская» / И. А. Рудаков. – Моршанск – 2014. – 34с.
7. **Панов, М. Я.** Использование системы matlab для моделирования процесса управления функционированием систем газоснабжения / М. Я. Панов, Г. Н. Мартыненко, В. В. Ухлова, А. И. Колосов // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. – 2017. – № 1 (367). – С. 239-243.
8. **Колосов, А. И.** Управление работой аварийно-восстановительных служб газораспределительной организации / А. И. Колосов, Г. А. Кузнецова, О. А. Гнездилова / Научный журнал строительства и архитектуры. – 2018. – № 1 (49). – С. 29-36.
9. **Колосова, Н. В.** Ликвидация последствий аварий на объектах инженерных систем теплогазоснабжения / Н. В. Колосова, К. М. Сенькин, Ю. А. Соя, В. О. Бочаров // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. – 2012. – № 3 (8). – С. 44-50.
10. **Панов, М. Я.** Использование системы matlab для моделирования процесса управления функционированием систем газоснабжения / М. Я. Панов, Г. Н. Мартыненко, В. В. Ухлова, А. И. Колосов // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. – 2017. – № 1 (367). – С. 239-243.

THE CALCULATION OF THE RESIDUAL LIFE OF GAS PUMPING UNIT OF THE TYPE GTK-25IP FROM THE COMPANY «NUOVO-PIGNONE»

A. M. Khudyakov, N. V. Plohih, N. V. Kolosova

Voronezh State Technical University

A. M. Khudyakov, student of the faculty of engineering systems

Russia, Voronezh, tel.: + 7(908)131-01-81, e-mail: khudyakov.mikhail@inbox.ru

N. V. Plohih, student of the faculty of engineering systems

Russia, Voronezh, tel.: + 7(951)857-05-64, e-mail: plokhih.nat84@gmail.com

N. V. Kolosova, 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: kolosnv@yandex.ru

Statement of the problem. The technology of forecasting failures by the company «Nuovo-Pignone» gas compressor units of type GTK-25ИР. For this purpose, a method of calculating the stress-strain state of the engine elements, bearing capacity and strength reserves, as well as the residual life is proposed.

Results and conclusions. When using this technology, it is possible to predict the failure of the gas pumping unit of the GTC-25ИР type in a timely manner, as well as to prevent possible accidents on this machine.

Keywords: failure prediction, gas pumping unit, gas turbine engine.

Для цитирования: Худяков, А. А. Расчет остаточного ресурса газоперекачивающего агрегата типа ГТК-25ИР от фирмы «Нуово-Пиньоне» / А. А. Худяков, Н. В. Плохих, Н. В. Колосова // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. – 2018. – № 4 (13). – С. 17–23.

For citation: Khudyakov, A. M. Study The calculation of the residual life of gas pumping unit of the type GTK-25ИР from the company «Nuovo-Pignone»/ А. М. Khudyakov, N. V. Plohih, N. V. Kolosova // Gradostroitelstvo. Infrastruktura. Kommunikatsii. – 2018. – № 4 (13). – Pp. 17–23.

УДК 697.9

ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВОЗДУХА В ПОМЕЩЕНИЯХ СЛОЖНОЙ КОНФИГУРАЦИИ

С. В. Чуйкин, Е. В. Плаксина, К. А. Григорьева

Воронежский государственный технический университет

*С. В. Чуйкин, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела
Россия, г. Воронеж, тел.: +7 (473) 271-53-21, e-mail: teplosnab_kaf@vgasu.vrn.ru*

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

*К. А. Григорьева, студентка кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела,
Россия, г. Воронеж, тел.: +7 (473) 271-53-21, e-mail: teplosnab_kaf@vgasu.vrn.ru*

Постановка задачи. При организации воздухоораспределения в вентилируемых помещениях одной из основных проблем является учет их конфигурации, а так же образования вихревых зон, отрицательно воздействующих на эффективности систем вентиляции. В связи с этим большую актуальность получает задача исследования развития потоков воздуха с помощью физического и математического моделирования.

Результаты и выводы. Проведено экспериментальное исследование развития воздушных потоков на предложенном экспериментальном стенде, имитирующим сложную конфигурацию помещения с перегородками, при различных режимах течения воздуха. Выявлено, что с увеличением начального расхода приточного воздуха, наблюдается значительное изменение структуры развития воздушного потока и образование застойных зон в отделенных частях помещения. Предотвратить образование застойных зон можно путем снижения скорости приточного воздуха при организации воздухообмена по принципу вытесняющей вентиляции.

Ключевые слова: вентиляция, численное моделирование, воздушные потоки.

Введение. При организации воздухоораспределения в вентилируемых помещениях одной из основных проблем является учет сложной конфигурации обслуживаемой зоны, и возможного образования, в связи с этим, вихревых (застойных) зон. Как правило, это характерно для перемешивающей вентиляции, когда воздух подается с большой скоростью и режим его течения несет турбулентный характер. Избежать этого можно при переходе к низким скоростям распределения воздуха, что характерно для вытесняющей вентиляции [1, 2, 3, 4].

Одним из примеров подобных помещений со сложной конфигурацией являются помещения с перегородками, как вертикальными, так и горизонтальными. Изучению распределения воздушной потоков в данных помещениях и будет посвящена данная работа.

Для изучения упомянутых процессов предлагается экспериментальная установка приведенная на рисунке 1.

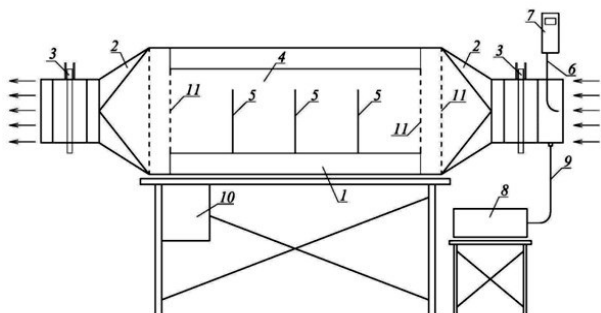


Рис. 1. Принципиальная схема экспериментальной установки: 1 – рабочая камера; 2 – переход на круглое сечение; 3 – регулирующий клапан; 4 – смотровое окно; 5 – перегородки; 6 – измерительная трубка; 7 – электронный термоанемометр; 8 – генератор дыма; 9 – трубка для подачи дыма; 10 – пульт управления; 11 – перфорированная стенка

1. Описание эксперимента. Для изучения характера развития воздушных потоков и подтверждения предположения о вовлечении отделенных зон исследуемого помещения в процесс вентилирования проводилась фотосъемка потоков воздуха предварительно подкрашенных с помощью генератора дыма. При этом приточный воздух подается в рабочую камеру, расход и, следовательно, скорость воздушного потока регулируется с помощью пульта управления приточной установки и регулирующего клапана. Контроль над расходом воздуха осуществляется с помощью электронного термоанемометра.

После подачи подкрашенного воздуха в рабочую камеру производится серийная фотосъемка потоков воздуха зеркальным цифровым фотоаппаратом с частотой съемки пять кадров в секунду, таким образом, каждый кадр производится с промежутком в 0,2 секунды. После полного заполнения рабочей камеры подкрашенным воздухом, генератор дыма отключается и производится продувка до полного удаления подкрашенного воздуха, после чего эксперимент повторяется. Для выявления закономерности распространения воздушных потоков в помещении с перегородками расход подаваемого воздуха при эксперименте изменяется с интервалом $10 \text{ м}^3/\text{ч}$.

На втором этапе изучения производится замер скорости воздуха в различных точках рабочей камеры, расположение которых представлено на рисунке 2. Измерение скорости производится с помощью термоанемометра, диапазон измерений которого равняется от 0 до 20 м/с, при погрешности пять процентов от измеренной величины.

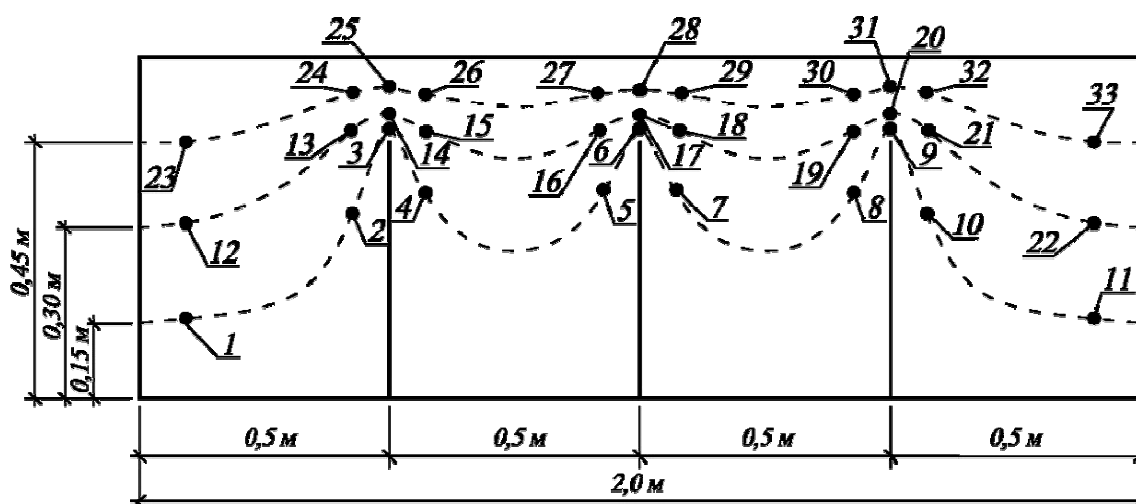


Рис. 2. Схема расположения точек измерения

2. Анализ полученных результатов. На рисунке 3 изображено развитие предварительно подкрашенных воздушных потоков в рабочей камере экспериментальной установки при турбулентном, и близком к ламинарному режиму течения жидкости.

Анализ результатов визуализации развития воздушных потоков в рабочей камере экспериментальной установки показывает, что при высоких скоростях воздуха характер формирования воздушных потоков способствует образованию застойных зон (рис. 3а, 3б, 3д, 3г), что описывается в работе [8, 9]. Так, с увеличением скорости подачи воздуха наблюдается значительное вихреобразование при обтекании перегородок, в результате воздух «проскакивает» первую перегородку и поступает в следующую четверть у второй перегородки.

Избежать образования данных зон можно с уменьшением скорости воздуха, вследствие чего, потоки плавно обтекают преграды, что показано на рисунках 3д, 3е, 3ж, 3з.

Результаты второго этапа экспериментального исследования по определению скорости воздуха при режиме течения близком к ламинарному, приведены на рисунке 4.

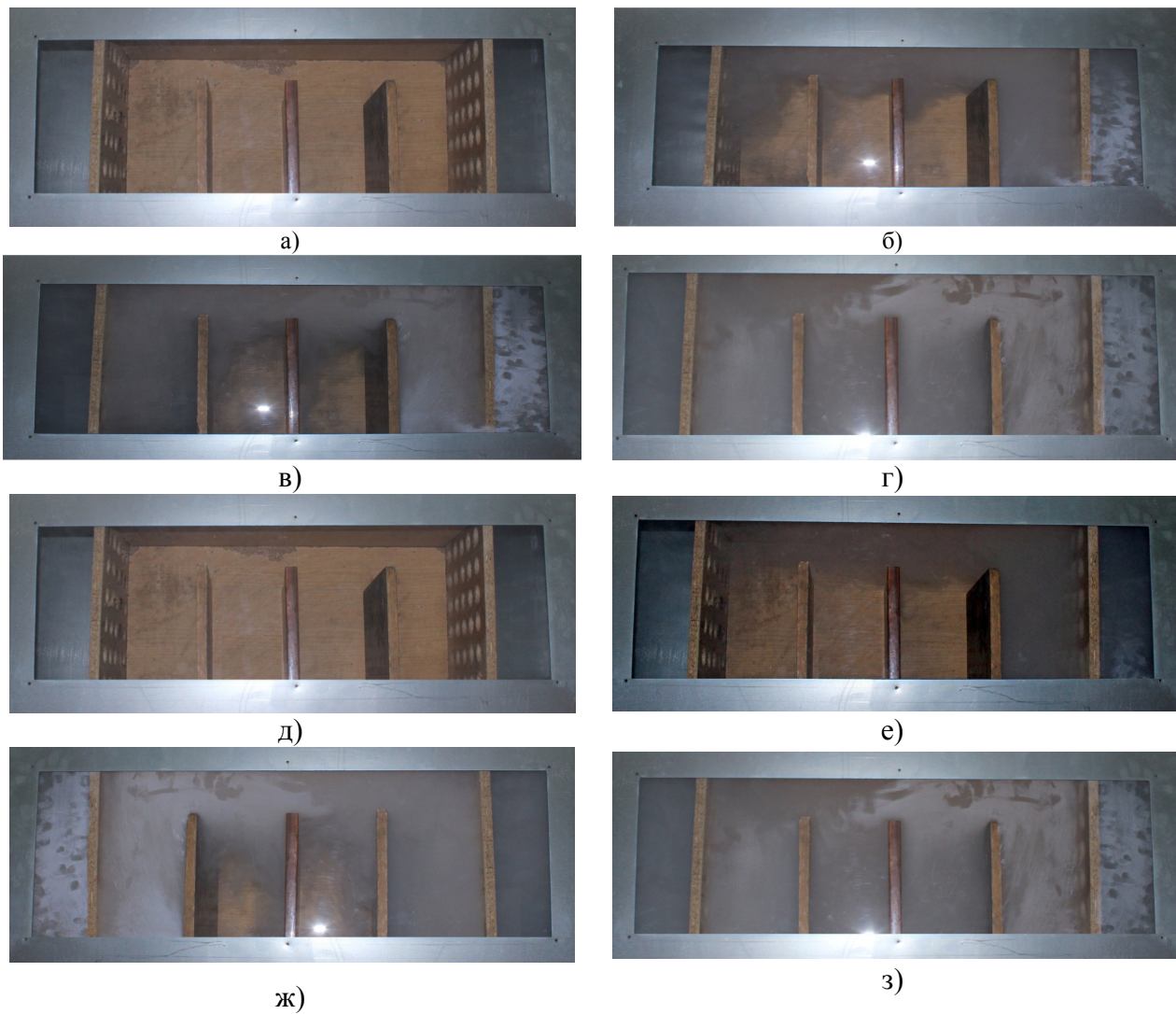


Рис. 3. Распределение воздуха в рабочей камере: а, б, в, г – при турбулентном режиме течения; д, е, ж, з – при близком к ламинарному режиму течения

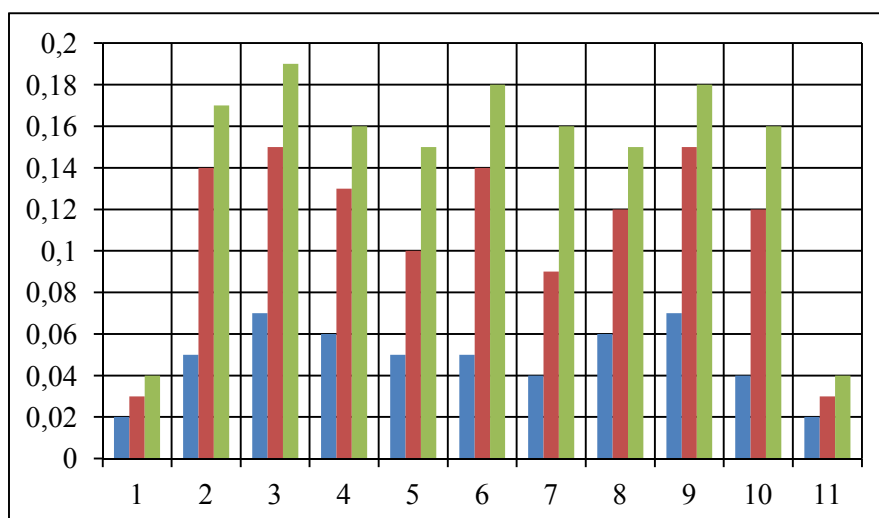


Рис. 4. Скорость воздуха в точках измерения рисунок 2

Анализ полученных данных показывает, что скорость воздуха возрастает с приближением к перегородке и достигает своего максимума в точке ее преодоления, это также подтверждается расчетами, проведенными на основании системы уравнений Навье-Стокса, приведенными в работе [9].

Кроме того, в обоих случаях при приближении потока воздуха к верхней границе помещения наблюдается снижение его скорости, что можно объяснить тормозящим эффектом поверхности. С постепенным увеличением расхода воздуха подаваемого в рабочую камеру, а, следовательно, и скорости воздушных потоков, наблюдается рост интенсивности образования вихрей, что влечет за собой повышение отклонения измеряемой скорости от ее среднего значение.

Подобная схема развития воздушных потоков характерна для перемешивающей вентиляции, когда воздух движется не как поршень, что наблюдается при вытесняющей вентиляции, а перемешивается во всем объеме помещения. Построение полей скорости для этого случая, удобно осуществлять с помощью численного моделирования процессов газовой динамики.

Согласно работе [9], скорость воздуха во второй, третьей и четвертой четвертях постепенно снижается, что и наблюдалось в ходе эксперимента. Причем, скорость у дальней перегородки значительно превышала скорость у ближней перегородки. Все это отрицательно сказывается на эффективности воздухообмена обслуживаемых зон помещения.

Для вытесняющей вентиляции, как указывалось ранее, характерно движение с менее выраженной турбулентностью, это позволяет воздуху опускаться вниз, соприкасаясь с ближней перегородкой, и вентилировать все отделенные зоны помещения. Это явление повышает эффективность вентиляции за счет более равномерного распределения подаваемого воздуха в общем объеме помещения. Для математического моделирования распределения скоростей воздуха при режимах течения близких к ламинарным, удобно пользоваться методом конформных отображений, которые подробно разбирались в работах [5, 6, 7, 10].

Вывод. В соответствии с разработанной схемой эксперимента были произведены исследования особенностей формирования воздушных потоков в помещениях сложной конфигурации и закономерность изменения их скорости в исследуемом пространстве. В результате анализа проведенной фотосъемки выявлено, что с увеличением начального расхода приточного воздуха подаваемого в экспериментальную установку, наблюдается значительное изменение структуры развития воздушного потока и образование застойных зон в отделенных частях помещения [10-13].

Предотвратить образование застойных зон в огороженных перегородками частях помещения можно путем снижения скорости приточного воздуха при организации воздухообмена по принципу вытесняющей вентиляции. Максимальная скорость воздуха не приводящая к возникновению вихрей, при обтекании перегородок, определяется физическими параметрами и не должна превышать критических значений, устанавливаемых для каждого конкретного случая.

Библиографический список

1. **Чуйкин, С. В.** Математическое моделирование потоков воздуха в помещении при организации вытесняющей вентиляции / С. В. Чуйкин, С. Г. Тульская, К. А. Скляр, Е. О. Благовестная // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. – 2017. – №2(7). – С. 15-20.
2. **Melkumov, V. N.** Conformal mapping in mathematical modelling of air flows in premises / V. N. Melkumov, S. V. Chuikin, K. A. Sklyarov, A. I. Kolosov // Indian Journal of Science and Technology. – 2016. – Т.9. – №18.
3. **Чуйкин, С. В.** Вентиляция и экологическая безопасность жилых и общественных помещений / С. В. Чуйкин // Экология и промышленность России. – 2015. – Т.19. – №2. – С. 42-44.
4. **Melkumov, V. N.** Mathematical modelling of air streams in large spaces / V. N. Melkumov, A. V. Loboda, S. V. Chuikin // Scientific Herald of the Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering. Construction and Architecture. – 2015. – №1(25). – С. 15-24.

5. **Чуйкин, С. В.** Применение теории функции комплексного переменного при решении задач вентиляции / С. В. Чуйкин // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. – 2014. – №4-2(17). – С. 33-37.
6. **Melkumov, V. N.** Modelling air flows in premises using conformal mapping / V. N. Melkumov, S. A. Kolodyazhnyi, S. V. Chuikin // Middle East Journal of Scientific Research. – 2014. – Т.22. – №1. – С. 79-81.
7. **Чуйкин, С. В.** Применение конформных отображений при решении задач вытесняющей вентиляции / С. В. Чуйкин, Р. А. Люльков // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. – 2013. – №1(10). – С. 29-36.
8. **Chuykin, S. V.** Determination of velocity fields of air streams in ventilated rooms with conformal mappings / S. V. Chuykin, A. V. Loboda // Scientific Herald of the Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering. Construction and Architecture. – 2013. – №3(19). – С. 39-51.
9. **Скляр, К. А.** Двухмерное стационарное движение воздушного потока в помещениях с перегородками / К. А. Скляр, А. В. Черемисин, С. П. Павлюков // Научный вестник ВГАСУ. Строительство и архитектура. – 2008. – №1(9). – С. 118 – 123.
10. **Лобода, А. В.** Использование метода конформных отображений для определения полей скоростей воздушных потоков в задачах вентиляции / А.В. Лобода, С.Н. Кузнецов // Научный вестник ВГАСУ. Строительство и архитектура. – 2011. – №1(21). – С. 15-21.
11. **Плужникова, В. Р.** Качество внутреннего воздуха и его влияние на тепловой комфорт человека / В. Р. Плужникова, А. А. Вагина, Т. Л. Борисова, С. Г. Тульская // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. – 2015. – №2(19). – С. 76-82.
12. **Кузнецов, С. Н.** Выбор воздухообмена в помещениях с движущимися источниками вредных веществ / С. Н. Кузнецов, А. И. Колосов, А. С. Чесноков // Научный журнал строительства и архитектуры. – 2017. – № 1 (45). – С. 50-57.
13. **Кирнова, М. А.** Организация вытяжной вентиляции разноэтажного жилого комплекса / М. А. Кирнова // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. – 2016. – № 1 (2). – С. 28-37.

THE STUDY OF THE DISTRIBUTION OF AIR IN PREMISES OF COMPLEX CONFIGURATION

S. V. Chuykin, E. V. Plaksina, K. A. Grigorieva

Voronezh State Technical University

*S. V. Chuykin, PhD in Engineering, Assoc. Prof. of the Dept. of Heat and Gas Supply and Oil and Gas Business
Russia, Voronezh, tel.: +7(473)271-53-21,, e-mail: teplosnab_kaf@vgasu.vrn.ru*

E. V. Plaksina, teacher of the Dept. of Heat and Gas Supply and Oil and Gas Business

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

K. A. Grigorieva student of Dept. of Heat and Gas Supply and oil and Gas business

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

Statement of the problem. When organizing air distribution in ventilated areas, one of the main problems is to take into account their configuration, as well as the formation of vortex zones that adversely affect the efficiency of ventilation systems. In this regard, the task of studying the development of air flows through physical and mathematical modeling is of great importance.

Results and conclusions. An experimental study of the development of air flows on the proposed experimental stand, simulating a complex configuration of the room with partitions, under different air flow regimes. It is revealed that with the increase in the initial flow rate of supply air, there is a significant change in the structure of the air flow and the formation of stagnant zones in the separated parts of the room. It is possible to prevent the formation of stagnant zones by reducing the speed of the supply air in the organization of air exchange on the principle of displacing ventilation.

Keywords: ventilation, numerical simulation, air flow.

Для цитирования: Чуйкин, С. В. Исследование распределения воздуха в помещениях сложной конфигурации / С. В. Чуйкин, Е. В. Плаксина, К. А. Григорьева // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. – 2018. – № 4 (13). – С. 24–28.

For citation: Chuykin, S. V. The study of the distribution of air in premises of complex configuration / S. V. Chuykin, E. V. Plaksina, K. A. Grigorieva // Gradostroitelstvo. Infrastruktura. Kommunikatsii. – 2018. – № 4 (13). – Pp. 24–28.

УДК 622.69

ОПТИМИЗАЦИЯ РАБОТЫ ЭНЕРГОСИСТЕМ. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕРОЯТНОГО УЩЕРБА ОТ ПЕРЕРЫВОВ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ

Е. А. Куликова, Н. М. Попова, Н. В. Коротких, Н. А. Петрикеева

Воронежский государственный технический университет

Е. А. Куликова, магистрант кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела

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

Н. М. Попова, ст препод. кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела

Россия, г. Воронеж, тел.: +7 (908) 137-23-33, e-mail: exclusiv.na@mail.ru

Н. В. Коротких, магистрант кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела

Россия, г. Воронеж, тел.: +7 (908) 131-46-63, e-mail: petrikeeva.nat@yandex.ru

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

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

Постановка задачи. Организация и планирование энергоснабжения направлено на бесперебойное обеспечение энергоресурсами предприятий, что в свою очередь ведет к качественному и эффективному производству энергии. Поэтому актуальным вопросом является анализ проблем, связанных с оптимизацией проведения ремонтных и восстановительных работ на энергетических сетях населенных мест и предприятий, в том числе разработка дополнительных комплексных инструментов оценки эффективности при выполнении данных работ.

Результаты. В ходе исследования был определен ущерб от перерывов в энергоснабжении предприятия на основе показателя среднего вероятного ущерба недоотпущенной электроэнергии.

Выводы. Одним из главных направлений при организации ремонтно-восстановительных работ должно стать создание прогностических систем с элементами искусственного интеллекта, которые объединяют возможности экспертных и традиционных систем статистической обработки. Организация данного вопроса должна иметь комплексный подход и нуждается в мероприятиях, направленных на оптимизацию работ на энергосетях.

Ключевые слова: энергоснабжение, энергетические сети, перерывы энергоснабжения, мониторинг энергосистем, умные сети.

Введение. Энергетическая система предназначена для обеспечения потребности в тепловой и электрической энергии разнообразных потребителей. В нее входят соединенные тепловые, газовые и электрические станции и сети, которые связывает общность режима производства электроэнергии, преобразования и дальнейшего ее распределения.

В отрасль энергетики входят группы производств, включающие добычу, транспортировку топлива, выработку энергии и передачу ее потребителю, эксплуатация и восстановление данных систем. Для получения энергии можно использовать топливные ресурсы, ядерную энергию, гидроресурсы, альтернативные виды энергии. При современных темпах энергопотребления ресурсов хватит максимум на сто лет, причем они практически невозполнимы, что становится реальной проблемой для человечества [3,6].

Одной из наиболее актуальных задач, стоящих перед Россией в XXI веке, является энергетическая эффективность во всех сферах деятельности человека. На данный момент большое количество систем энергоснабжения находятся в изношенном состоянии. Выявление частей теплосетей, которые требуют замены, происходит достаточно беспорядочно.

Из года в год раскапываются одни и те же трубы, некоторые из которых находятся еще в рабочем состоянии, а зимой начинаются массовые прорывы, т.к. нет заинтересованности подрядных организаций. Исходя из этого система, оценивающая техническое состояние энергосетей морально устарела и требует на данный момент серьезного пересмотра. Деятельность подрядчиков, проводящих работы по их обновлению и реконструкции, нуждается в специальной методологической основе для повышения организационно-технологической надежности указанных процессов [4, 5].

Для принятия эффективных управленческих и организационно-технологических решений по эксплуатации и реконструкции энергосетей необходимо оценить надежность и классифицировать их техническое состояние, т.е. по совокупности потребительских свойств, учитывающих различную степень износа и значимость указанных выше объектов в общей системе энергоснабжения городов, что и определяет актуальность исследования.

1. Мониторинг систем энергоснабжения. Мониторинг – еще одно из понятий в практике контроля технического состояния объектов энергетики. Это непрерывный или дискретно-непрерывный контроль технического состояния объектов. Мониторинг предполагает наличие стационарной системы контроля. Все средства мониторинга требуют непрерывного контроля и технического обслуживания [5-9].

Технически мониторинг реализуется с помощью стационарных средств измерения, телемеханических линий и центра сбора и анализа информации. При отсутствии телемеханических линий мониторинг становится трендом, но более дорогим в сравнении с ним. Данное средство контроля возможно только в том случае, когда у предприятия есть специалисты, способные выполнять анализ результатов измерений.

В случае отсутствия на предприятии специалиста по обработке результатов измерений необходимо воспользоваться средствами мониторинга. Мониторинг осуществляет только контроль предельных значений параметров.

Широкие теоретические возможности мониторинга, по определению, создают ложное представление о его реальных возможностях. Мониторинг воспринимается как система, которая без участия человека «может все». Реально таких систем пока не существует. Исключением может быть ряд узкоспециализированных и дорогостоящих систем, применение которых технически и экономически обосновано только на особо ответственных объектах [2, 7, 10].

2. Усовершенствование используемых механизмов. Вопросы взаимодействия систем диспетчерско-технологического управления, управления финансово-хозяйственной деятельностью, систем телеизмерений и телемеханики, систем управления взаимодействием с потребителями наиболее остро встают при решении задач оперативного реагирования на неплановые отключения, аварии, организацию ремонтно-восстановительных и аварийных работ. Одним из наиболее эффективных решений в этой области является интегрированное решение по управлению ремонтными и оперативно-восстановительными работами компании Siemens – Siemens OMS (Outage Management System), которое не только имеет возможности интеграции и обмена информацией с АСДУ, АСУ ТП подстанций, ГИС, ERP и другими системами, но и выступает базовым интегрирующим элементом процессов эксплуатации сетей и управления взаимоотношениями с потребителями. Решение базируется на технологии eRespond компании LeT Systems (Великобритания). Подходы и методология, используемые при построении этой системы, могут быть востребованы и в российских электросетевых компаниях [1, 8, 11].

Система Siemens OMS была разработана для удовлетворения следующим основным требованиям: со стороны регулирующих и надзорных органов: использование унифицированной отчетности, такой как NERC Reliability Standards; разработка и использование новых систем КПЭ для оценки деятельности компании, отражающих надежность энергоснабжения, эффективность и др.; облегчение проведения энергоаудита, расследования инцидентов и от-

ключений, претензий потребителей; документирование процессов обслуживания и эксплуатации сетей.

Со стороны потребностей электроэнергетики: преодоление разобщенности различных локальных информационных систем вновь образованных компаний, вызванной процессами реформирования и реструктуризации энергетики, с целью интеграции основных процессов эксплуатации и обслуживания сетей; равномерное распределение нагрузки и снижение количества инцидентов на объектах сети; быстрое реагирование на изменения конфигурации сети и, соответственно, увеличение числа оперативных работ, что становится особенно актуальным с развитием альтернативной энергетики; устранение отставания значительного числа объектов сетевой инфраструктуры от современных требований к надежности и уровню автоматизации. Со стороны потребителей: надежность и бесперебойность электроснабжения, с учетом перехода на новые системы оплаты; повышение качества обслуживания в условиях ужесточения требований государства к качеству энергоснабжения; повсеместное создание единых центров обслуживания потребителей.

Ожидаемые эффекты от эксплуатации системы – прозрачность учета трудозатрат и расхода ресурсов, возможность прогнозирования потребностей в ресурсах, повышение качества работ, сокращение времени на планирование и отчетность, снижение количества аварийных отключений и их продолжительности, оптимизация складских запасов, возможность анализа аварийных отключений по каждому подразделению. Интегральным показателем эффективности в целом станет повышение надежности энергоснабжения [1].

3. Комплексные технологии энергетических сетей. В настоящее время эта ключевая отрасль обеспечивает энергоснабжение потребителей, соответствующее нормам, присоединение новых электроприемников к электросетям и выдачу необходимой мощности. Существующая ЕЭС способна минимизировать риск возникновения аварийных возмущений, в том числе крупных системных аварий, и, соответственно, ущерб от недоотпуска электроэнергии.

При этом очевидно, что для прогрессивного развития российской электроэнергетики необходимо внедрять инновационные типы электрооборудования и новые методы управления режимами крупных энергообъединений, основанные на возможностях последнего поколения силовых регулирующих устройств, систем измерения и обработки информации. Такой путь особенно актуален для электроэнергетических систем (ЕЭС) современных мегаполисов.

К этим энергосистемам предъявляется ряд требований, которые в дальнейшем будут только ужесточаться. В первую очередь они касаются надежности функционирования энергообъектов и, как следствие, надежности электроснабжения потребителей. Кроме того, электросетевая инфраструктура любого мегаполиса должна быть готова к работе в условиях оптового и розничных рынков электроэнергии, гибко и оперативно адаптироваться к присоединению новых генерирующих мощностей и потребителей. В то же время неизменными условиями работы энергосистемы остаются оптимальный уровень затрат на ее функционирование и развитие, а также безопасность для человека и окружающей среды.

В перспективе энергосистемы, развивающиеся по традиционному пути, не смогут в полной мере соответствовать предъявляемым требованиям, поэтому пришло время переходить к инновационному вектору их совершенствования. На новом этапе ЕЭС будут меняться с учетом мировых технических тенденций и современных технологий, среди которых нужно упомянуть гибкие линии электропередачи (FACTS), линии и вставки постоянного тока на основе преобразовательных устройств с микропроцессорным управлением, высокоскоростные средства связи, системы мониторинга переходных режимов (СМПП/WAMS) для анализа динамических свойств ЕЭС, микропроцессорную технику для обработки информации и управления оборудованием [11-20].

Применение принципов модульной инфраструктуры с использованием пакетированного оборудования в модули высокой заводской надежности и эффективности использования ресурсов заказчика на всех стадиях реализации проекта.

4. Прогнозирование в энергосетях. Умные сети. «Умная» сеть предлагает более детальное отображение статуса в режиме реального времени. Она позволяет заменить связь типа «точка - точка» стандартизированной связью пакетной передачи данных (подобной Интернету). Простые индикаторы сбоев замещаются более сложными контрольными датчиками, которые предоставляют подробную информацию о статусе оборудования и помогают диспетчерам определять, когда может произойти сбой.

«Умные» сети дают не только данные, помогающие предсказывать и предотвращать сбои, но и изображение происходящего в режиме реального времени при возникновении сбоя, что позволяет сетевым операторам отправлять техников в нужное место и с нужным оборудованием.

Традиционные сетевые операторы реагируют на рост пиковой нагрузки, добавляя оборудование (например, линии электропередачи, подстанции). При ограниченных возможностях отслеживания резких скачков потребления электроэнергии эти сети вынуждены иметь дополнительные мощности для того, чтобы справиться с периодами пиковой нагрузки. При таком подходе и номинальные, и краткосрочные пиковые мощности оборудования должны расти вместе с пиковой потреблением.

«Умные» сети смягчают рост пиковых нагрузок с помощью сетевых приборов учета, которые собирают временные данные по потреблению (некоторые из приборов учета используют сети на основе IP-протокола, чтобы автоматически посылать отчеты в диспетчерский центр). Сетевые компании могут использовать эти данные для внедрения повременных тарифов, взимая дополнительную плату за потребление электроэнергии в периоды пиковых нагрузок.

Поощряя потребление электроэнергии во внепиковые периоды, повременные тарифы помогают уравновесить нагрузку в сети и сгладить пики. При работе с распределенной генерацией традиционный подход требует капиталовложений в создание выделенных линий электропередачи и обновление оборудования. «Умная» сеть, наоборот, позволяет существующей сети работать с распределенной генерацией, избегая дорогостоящих обновлений.

От результатов прогнозирования оборудования зависит организация работ по вводу-выводу оборудования в ремонт. С помощью диагностики можно отслеживать состояние оборудования и прогнозировать его работоспособность на некоторый период времени.

5. Перерывы в функционировании энергосистем. Для принятия эффективных управленческих и организационно-технологических решений по эксплуатации и реконструкции энергосетей необходимо оценить надежность и классифицировать их техническое состояние, т.е. по совокупности потребительских свойств, учитывающих различную степень износа и значимость указанных выше объектов в общей системе энергоснабжения городов, что и определяет актуальность исследования.

Важным вопросом является анализ проблем, связанных с оптимизацией проведения ремонтных и восстановительных работ на энергетических сетях населенных мест и предприятий, в том числе разработка дополнительных комплексных инструментов оценки эффективности при выполнении данных работ.

Организация и планирование энергоснабжения направлено на бесперебойное обеспечение энергоресурсами предприятий, что в свою очередь ведет к качественному и эффективному производству энергии.

Вред от вероятных перерывов энергоснабжения при авариях на электрических сетях необходимо принимать во внимание, что при рассмотрении нескольких альтернативных вариантов организации электроснабжения, которые отличаются по надежности, или при оценке мероприятий по повышению надежности. К вопросу оценки ущерба от преднамеренных отключений электрической сети следует подходить дифференцированно. Перед тем как произвести отключение все потребители, заранее предупреждаются о времени отключения и его продолжительности. Перерывы в электроснабжении могут привести к недоотпуску и порче

продукции, нарушению и прекращению технологических процессов, отрицательному влиянию на состояние людей и животных [6, 8, 12, 19].

Одним из важнейших условий ускорения научно-технического прогресса является повышение качества и снижение сроков проектирования реконструкции объектов. В процессе проектирования требуется учитывать большое количество конструктивно-планировочных, технических, социологических факторов и экономических показателей, что традиционными методами практически выполнить трудно, а в отдельных случаях невозможно. В связи с этим становится актуальным вопрос найти вероятные пути автоматизации этого специфического вида проектирования. Рациональность и вероятность решения отдельных вопросов или всего процесса реконструкции объекта должна быть аргументирована и обеспечивать снижение трудозатратности и продолжительности проектирования, получение более надежных и эффективных решений, выработку оптимальных для данных условий объекта организационно-технологических и технических проектов [14, 18].

6. Алгоритм определения вероятного ущерба от перерывов в энергоснабжении.

При расчетах ущерба от перерывов электроснабжения удобно использовать такой показатель как средний вероятный ущерб, отнесенный к 1 кВт·ч недоотпущенной электроэнергии. При этом необходимо располагать среднестатистическими значениями продолжительности отключений в расчете на 1 км линии и 1 ТП.

Аналитическое выражение для определения ущерба имеет следующий вид

$$Y = y_0 \cdot W_{n.э.}, \quad (1)$$

где y_0 – удельный ущерб от недоотпуска 1 кВт·ч электроэнергии; $W_{n.э.}$ – количество недоотпущенной электроэнергии за время перерывов электроснабжения потребителей.

Решение данной задачи рассмотрим на примере определения годового ущерба от аварийных перерывов электроснабжения предприятия до и после его модернизации.

Коэффициент вынужденного простоя для существующей ЛЭП определяется следующим образом

$$K_{э1} = \omega_1 \cdot T_э, \quad (2)$$

где ω_1 – параметр потока отказов, откл/год; $T_э$ – среднее время восстановления, год/отказ.

Коэффициент вынужденного простоя для вновь вводимой ЛЭП $K_{э2} = K_{э1}$.

Параметр потока отказов при параллельном соединении элементов определяется по формуле

$$\omega = \omega_1 \cdot K_{э1} + \omega \cdot K_{э2}. \quad (3)$$

Недоотпуск электроэнергии при аварийных простоях в исходном варианте находится по формуле

$$W_{n.э1} = \omega_1 \cdot T_э \cdot P, \quad (4)$$

где P – расчетная нагрузка, кВт.

Недоотпуск электроэнергии при аварийных простоях после модернизации определяется как:

$$W_{n.э2} = \omega \cdot T_э \cdot P. \quad (5)$$

Ущерб от аварийных отключений в исходном варианте электроснабжения определяется как:

$$Y_1 = y_0 \cdot W_{n.э.1}, \quad (6)$$

Ущерб от аварийных отключений после модернизации электрической сети рассчитывается по формуле

$$Y_2 = y_0 \cdot W_{n.э.2}. \quad (7)$$

Определение вероятного ущерба от перерывов энергоснабжения предприятия производится с помощью программного обеспечения. Расчеты выполняются на ЭВМ с помощью программы для работы с электронными таблицами Microsoft Excel. Ранее в ряде работ мы показывали простоту и эффективность этого способа макропрограммирования [10, 13, 15]. Реализация программы в виде блок-схемы представлена на рисунке.



Рис. Блок-схема программы расчета

Выводы. Надежное снабжение потребителей электрической и тепловой энергией, безаварийное и экономичное функционирование энергетического хозяйства возможны только при эффективной организации технического обслуживания и ремонтных работ энергетических сетей. Организация данного вопроса должна иметь комплексный подход и нуждается в мероприятиях, направленных на оптимизацию работ на энергосетях.

Одним из главных направлений при организации ремонтно-восстановительных работ должно стать создание прогностических систем с элементами искусственного интеллекта, которые объединяют возможности экспертных и традиционных систем статистической обработки.

В ходе исследования был определен ущерб от перерывов в энергоснабжении предприятия на основе показателя среднего вероятного ущерба недоотпущенной электроэнергии.

Библиографический список

1. **Бейсенов, К. С.** Проблемы и перспективы развития электроэнергетики в современных условиях [Электронный ресурс] // Молодой ученый. – 2017. – №20. – С. 235-237. – URL <https://moluch.ru/archive/154/43555>.
2. **Боровков, В. М.** Ремонт теплотехнического оборудования и тепловых сетей [Электронный ресурс] / В. М. Боровков, А. А. Калютник, В. В. Сергеев // С.-Пб: Изд. Политехнического университета, 2009. – 168 с. – http://zinref.ru/000_uchebniki/05300_tehnika/009_00_remont_teplochnicheskogo_oborudovania_i_teplovih_setei_borovikov_2009/030.htm.
3. **Вернигора, В. В.** Оценка сложности добычи нефти на российском шельфе / В. В. Вернигора, Н. А. Петрикеева, Д. М. Чудинов // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. – 2017. – № 4 (9). – С. 52-58.
4. **Гладышева, Т. Ю.** Децентрализация как способ реконструкции инженерных систем зданий и сооружений / Т. Ю. Гладышева, Н. А. Петрикеева, Т.М. Заид // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. – 2017. – № 1 (6). – С. 14-18.
5. **Гладышева, Т. Ю.** Основные направления реконструкции инженерных систем зданий и сооружений / Т. Ю. Гладышева, Н. А. Петрикеева // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. – 2016. – № 2 (23). – С. 14-21.
6. **Кожухов, Р. О.** Экологические аспекты при передаче высоковольтной электрической энергии / Р. О. Кожухов, Н. А. Петрикеева // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. – 2015. – № 2. – С. 47-51.
7. **Кузнецов, С. Н.** Экологическая безопасность воздушной среды помещений с выделением вредных веществ различной плотности / С. Н. Кузнецов, Н. А. Петрикеева // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. – 2013. – № 1 (29). – С. 82-90.
8. **Одилжанова, С. А.** Совершенствование методов планирования ремонтно-строительных работ при реконструкции инженерных коммуникаций [Электронный ресурс] / Ташкентский архитектурно-строительный институт, 2013. – 56 с.
9. **Бурман, А. П.** Основы современной энергетики / Под ред. А. П. Бурмана и В. А. Строева. – М.: Изд. МЭИ, 2003. – 232с.
10. **Петрикеева, Н. А.** Влияние величины тепловых выбросов на концентрацию оксидов азота в дымовых газах теплогенераторов / Н. А. Петрикеева, Л. В. Березкина, Д. А. Письменный // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. – 2010. – № 1 (2). – С. 234-237.
11. **Петрикеева, Н. А.** Влияние инсоляции на интенсивность теплоступлений в жилые помещения / Н. А. Петрикеева, Л. В. Березкина // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. – 2010. – № 2 (3). – С. 100-103.
12. **Петрикеева, Н. А.** Зависимость концентрации оксидов азота от величины теплотерь с уходящими дымовыми газами теплогенерирующих установок / Н. А. Петрикеева, Л. В. Березкина, А. И. Колосов // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. – 2010. – № 2 (18). – С. 121-125.
13. **Петрикеева, Н. А.** Задача технико-экономической оптимизации при определении толщины теплоизоляционного слоя теплосетей / Н. А. Петрикеева, А. В. Черемисин, А. В. Копытин // Научный журнал строительства и архитектуры. – 2016. – № 1 (41). – С. 21-28.
14. **Петрикеева, Н. А.** Использование теплоты конденсации продуктов сгорания теплогенерирующих установок систем теплоснабжения / Н. А. Петрикеева, О. С. Цуканова, Д. А. Письменный // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. – 2009. – № 1 (1). – С. 107-113.

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

16. **Петрикеева, Н. А.** Пути снижения энергопотребления зданиями / Н. А. Петрикеева, А. Н. Садовников, А. В. Никулин // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. – 2012. – № 1 (6). – С. 13-17.

17. **Сотникова, О. А.** Реконструкция инженерного оборудования жилых зданий / О. А. Сотникова, Д. М. Чудинов, Н. А. Петрикеева, Н. М. Попова // Научно-технические проблемы совершенствования и развития систем газотеплоснабжения. – 2018. – № 6. – С. 216-223.

18. **Турбин, В. С.** Методика технико-экономического обоснования схем теплогенерирующих установок с напорными теплоутилизаторами / В. С. Турбин, Н. А. Петрикеева // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2006. – № 6. – С. 120-122.

19. **Хорошилова, Е. Л.** Повышение противокоррозионных свойств защиты газонефтепроводов / Е. Л. Хорошилова, Н. А. Петрикеева, Н. М. Попова // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. – 2018. – № 2 (11). – С. 42-49.

20. **Цуканова, О. С.** Проблема борьбы с шумом. История и основные направления развития методов снижения уровня шума / О. С. Цуканова, Н. А. Петрикеева // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. – 2009. – № 1. – С. 67-74.

OPTIMIZATION OF WORK OF POWER SUPPLY SYSTEMS. DETERMINATION OF PROBABLE DAMAGE FROM POWER SUPPLY BREAKS

E. A. Kulikova, N. M. Popova, N. V. Korotky, N. A. Petrikeeva

Voronezh State Technical University

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

*N. M. Popova, Senior Lecturer of Dept. of Heat and Gas Supply and Oil and Gas Business
Russia, Voronezh, tel.: +7 (908) 137-23-33, e-mail: exclusiv.na@mail.ru*

*N. V. Korotky, master of Dept. of Heat and Gas Supply and Oil and Gas Business
Russia, Voronezh, tel.: +7 (908) 131-46-63, e-mail: petrikeeva.nat@yandex.ru*

*N. A. Petrikeeva, PhD in Engineering, Assoc. Prof. of Dept. of Heat and Gas Supply and Oil and Gas Business
Russia, Voronezh, tel.: +7 (952) 101-72-96, e-mail: petrikeeva.nat@yandex.ru*

Statement of the problem. The organization and planning of power supply it is aimed at uninterrupted providing the enterprises with energy resources that in turn leads to high-quality and effective energy production. Therefore topical issue is the analysis of the problems connected with optimization of carrying out repair and recovery work on power networks of the inhabited places and the enterprises including development of additional complex tools of assessment of efficiency when performing these works.

Results. During the research the damage from breaks in power supply of industrial enterprise on the basis of an indicator of average probable damage of the nedootpushchenny electric power was defined.

Conclusions. Creation of predictive systems with elements of artificial intelligence which unite possibilities of expert and traditional systems of statistical processing has to become one of the main directions at the organization of rescue and recovery operations. The organization of the matter has to have an integrated approach and needs the actions directed to optimization of works on power networks.

Keywords: power supply, power networks, power supply interruptions, power supply reliability.

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

For citation: Kulikova, E. A. Optimization of work of power supply systems. Determination of probable damage from power supply break / E. A. Kulikova, N. M. Popova, N. V. Korotky, N. A. Petrikeeva // Gradostroitelstvo. Infrastruktura. Kommunikatsii. – 2018. – № 4 (13). – Pp. 29–36.

УДК 622.481.24

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОНДЕНСАЦИОННОГО УТИЛИЗАТОРА В КОТЕЛЬНОЙ МАЛОЙ МОЩНОСТИ

Е. П. Коротких, И. Д. Бокало, А. И. Козлов

*Воронежский государственный технический университет**Е. П. Коротких, магистрант кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела**Россия, г. Воронеж, тел. +7 (473) 271-53-21, e-mail: cool.korotkih@yandex.ru**И. Д. Бокало, магистрант кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела**Россия, г. Воронеж, тел. +7 (473) 271-53-21, e-mail: teplosnab_kaf@vgasu.vrn.ru**А. И. Козлов, магистрант кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела**Россия, г. Воронеж, тел. +7 (473) 271-53-21, e-mail: teplosnab_kaf@vgasu.vrn.ru*

Постановка задачи. Повышение эффективности существующих и строящихся теплогенерирующих установок [1], а также снижение их опасного влияния на окружающую среду [2] является важной и актуальной задачей. Утилизация теплоты уходящих дымовых газов является эффективным средством энергосбережения. Важной задачей является обоснование использования конденсационных теплоутилизаторов в котельных малой мощности, доля строительства которых в последнее время увеличивается, с учетом всех возможных затрат [3].

Результаты. Для котельной малой мощности рассчитан конденсационный теплоутилизатор поверхностного типа. Определена технико-экономическая эффективность использования утилизатора с учетом затрат на увеличение площади котельной, изменение в газовом тракте, увеличение высоты дымовой трубы, систему сбора и транспортировки конденсата.

Выводы. На основе проведенных расчетов установлено, что с учетом всех затрат, период окупаемости мероприятия по установке конденсационного утилизатора при средневзвешенном уровне тарифа на тепловую энергию составит 4,25 года. Получено уравнение, позволяющее определять срок окупаемости энергосберегающего мероприятия в зависимости от стоимости тепловой энергии.

Ключевые слова: теплогенерирующие установки, энергосбережение, утилизация теплоты, технико-экономическое обоснование.

Введение. В настоящее время актуальным является вопрос повышения эффективности сжигания топлива на источниках теплоты, используемых в системах коммунальной инфраструктуры. В секторе ЖКХ в последние годы получили распространение котельные малой и средней мощности, в том числе блочные. Например, в г. Воронеж по данным начала 2017 г. функционирует 610 газовых котельных, включая крышные. В таких котельных часто используются газотрубные высокоэкономичные котлы. Тем не менее, актуален вопрос повышения эффективности таких котельных [4].

Как известно, наибольшие потери теплоты сжигаемого топлива в котельных и установках мини-ТЭЦ на базе двигателей внутреннего сгорания, связаны с уходящими дымовыми газами в окружающую среду. Даже для газовых котельных такие потери могут достигать 20 %. Очевидно, что именно эту потерю необходимо уменьшать в первую очередь. С середины 20 века в этом направлении ведется активная работа. Разработаны и внедрены контактные теплообменные аппараты насадочного типа, полые и типа КТАН (контактный теплообменник с активной насадкой). Каждый из типов утилизаторов имеет свои преимущества и недостатки, подробный анализ которых приводится в современной литературе [5-15].

Дальнейшим направлением совершенствования утилизации является охлаждение уходящих дымовых газов ниже температуры точки росы, называемое «глубокое охлаждение».

2. Экономические показатели установки утилизатора. Были определены капитальные вложения в систему утилизации теплоты. На рисунке 2 представлена структура затрат на утилизатор и вспомогательное оборудование в процентах, а на рисунке 3 на монтаж котельной.

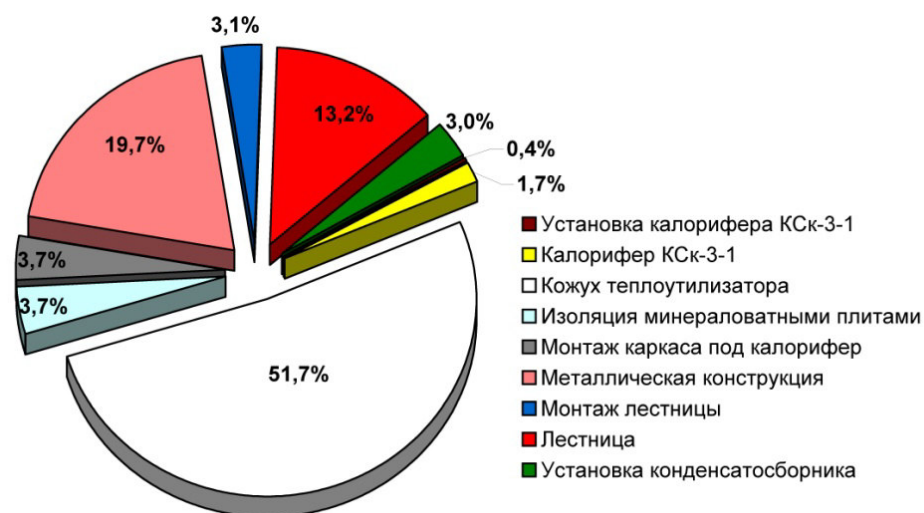


Рис. 2. Структура затрат на утилизатор и вспомогательное оборудование

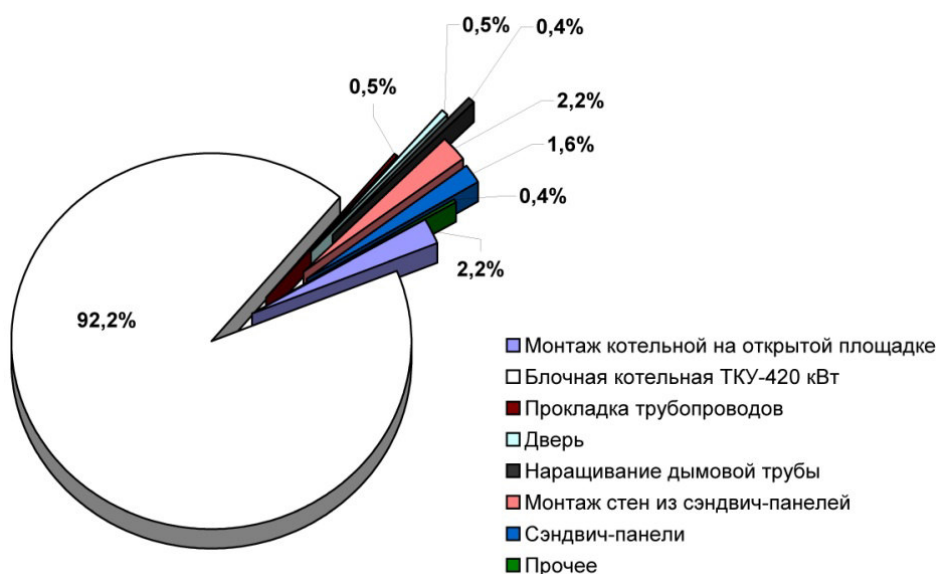


Рис. 3. Структура затрат на монтаж котельной

Суммарный экономический эффект от утилизации теплоты дымовых газов складывается из стоимости теплоты, отданной газами в утилизаторе, теплоты конденсата и самого конденсата. Был определен период окупаемости мероприятия по установке утилизатора в котельной для тарифа за тепловую энергию в интервале от 1500 до 4000 руб./Гкал. На рисунке 4 представлена диаграмма, отображающая такую зависимость.

Из рис. 4 следует, что при среднем уровне тарифа за тепловую энергию на текущий период времени $T=1974,13$ руб./Гкал для г.Воронеж, период окупаемости мероприятия по утилизации теплоты составит $X=4,25$ года.

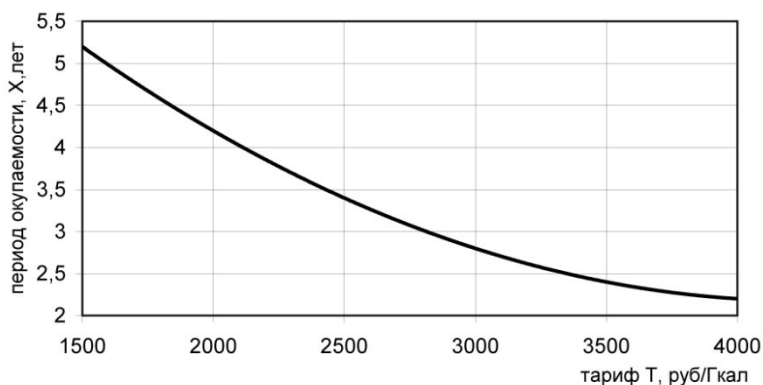


Рис.4. Зависимость окупаемости мероприятия от уровня тарифа

Было получено аппроксимационное уравнение, позволяющее определить период окупаемости в интервале тарифа от 1500 до 4000 руб./Гкал с относительной погрешностью менее 0,01 %:

$$X = 4 \cdot 10^{-7} T^2 - 3,4 \cdot 10^{-3} T + 9,4. \quad (1)$$

Была получена более удобная приближенная формула с максимальным значением относительной погрешности 2,28 %:

$$X = \frac{8306}{T}. \quad (2)$$

Выводы. Для рассмотренной котельной период окупаемости энергосберегающего мероприятия по установке утилизатора конденсационного типа с учетом всех возможных затрат в текущем уровне цен и тарифа за тепловую энергию составит 4,25 года. Получено уравнение, позволяющее с допустимой погрешностью рассчитать период окупаемости мероприятия по утилизации теплоты уходящих газов в котельной малой мощности.

Библиографический список

1. Семенов, В. Н. Энергосбережение и повышение энергоэффективности для объектов социальной сферы / В. Н. Семенов, Д. Н. Китаев, Т. В. Щукина, Д. Ю. Королев // Энергосбережение. – 2010. – № 6. – С. 38-45.
2. Копытина, М. Ю. Диагностика загрязнения окружающей среды и комплексный подход к ее защите / М. Ю. Копытина, Д. Н. Китаев, Т. В. Щукина, Д. Ю. Королев // Экология и промышленность России. – 2017. – Т.21. – №4. – С.59-63.
3. 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. 62-66.
4. 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.
5. Кудинов, А. А. Энергосбережение в теплоэнергетике и теплотехнологиях / А. А. Кудинов, С. К. Зиганшина. М.: Машиностроение, – 2011. – 374с.
6. Китаев, Д. Н. Перспективные схемы использования когенерационных установок в системах теплоснабжения / Д. Н. Китаев, А. В. Золотарев, Н. С. Шестых // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. – 2012. – №2. – С. 26-29.
7. Бухонов, Д. Ю. Исследование и оптимизация метода получения конденсата из уходящих продуктов сгорания природного газа: дис... канд. тех. наук: 05.14.14 / Д. Ю. Бухонов. – М., 2007. – 137 с.
8. Бородуля, В. Л. Влияние условий охлаждения на локальные параметры теплопереноса в конденсационных утилизаторах / В. А. Бородуля, В. Л. Малевич, А. Е. Синкевич // Инженерно-физический журнал. – 2012. – Т.85. – №1. – С.167-73.

9. **Баскаков, А. П.** Испытания, расчет и опыт эксплуатации конденсационных теплоутилизаторов // А. П. Баскаков, О. А. Раков, Е. В. Черепанова // Тр. Пятой Рос. нац. конф. по теплообмену: В 8 т. Т. 4. М.: Изд. дом МЭИ, 2010. – С. 206–209.

10. **Ефимов, А. Ю.** Эффективность применения теплоутилизатора тепла дымовых газов на котельных малой мощности [Электронный ресурс] (23.04.2018) / А. Ю. Ефимов, А. А. Фролов // Инженерный вестник дона, 2018. - №2. - http://ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_45_Efimov_Frolov_правка_23.04.2018_.pdf_e5ba22967c.pdf (дата обращения: 11.12.2018).

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

12. **Черных, Е. М.** Математическая модель конвективного теплопереноса при зарядке теплового аккумулятора / Е. М. Черных, Д. Н. Китаев // Вестник Воронежского технического университета. – 2007. – Т.3. – №6. – С.124-128.

13. **Турбин, В. С.** Альтернативные источники от мини-ТЭЦ / В. С. Турбин, О. А. Сотникова, Д. Н. Китаев // АВОК: Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика. – 2005. – №1. – С.42-46.

14. **Мелькумов, В. Н.** Критерии оптимальности и условия сравнения проектных решений систем теплоснабжения / В. Н. Мелькумов, К. А. Скляр, С. Г. Тульская, А. А. Чуйкина // Научный журнал строительства и архитектуры. – 2017. – № 4 (48). – С. 29-37.

15. **Мелькумов, В. Н.** Математическая модель конвективного теплообмена при зарядке теплового аккумулятора системы теплоснабжения / В. Н. Мелькумов, Д. Н. Китаев // Научный журнал строительства и архитектуры. – 2017. – № 1 (45). – С. 40-49.

USE OF CONDENSATION UTILIZER IN BOILER LOW POWER

E. P. Korotkikh, I. D. Bokalo, A. I. Kozlov

Voronezh State Technical University

*E. P. Korotkikh, master student of the Dept. of Heat and Gas Supply and Oil and Gas Business
Russia, Voronezh, tel.: +7 (473) 271-53-21, e-mail: cool.korotkikh@yandex.ru*

*I. D. Glass, undergraduate student of the Dept. of Heat and Gas Supply and Oil and Gas Business
Russia, Voronezh, tel.: +7 (473) 271-53-21, e-mail: teplosnab_kaf@vgasu.vrn.ru*

*A. I. Kozlov, master student of the Dept. of Heat and Gas Supply and Oil and Gas Business
Russia, Voronezh, tel.: +7 (473) 271-53-21, e-mail: teplosnab_kaf@vgasu.vrn.ru*

Statement of the problem. Improving the efficiency of existing and under construction heat-generating plants [1], as well as reducing their dangerous effects on the environment [2] is an important and urgent task. Utilization of the heat of the exhaust flue gases is an effective means of energy saving. An important task is to justify the use of condensation heat exchangers in low-power boiler houses, the construction share of which has recently increased, taking into account all the possible costs [3].

Results. For a low-power boiler room, a condensation heat exchanger of the surface type has been calculated. The technical and economic efficiency of utilization of the utilizer is determined taking into account the cost of increasing the area of the boiler room, the change in the gas path, increasing the height of the chimney, the system for collecting and transporting condensate.

Conclusions. On the basis of the calculations made, it has been established that, taking into account all costs, the payback period for the installation of a condensing heat exchanger with a weighted average level of the heat energy tariff will be 4.25 years. An equation is obtained that allows to determine the payback period of an energy-saving measure depending on the cost of heat energy.

Keywords: heat generating installations, energy saving, heat utilization, feasibility study.

Для цитирования: Коротких, Е. П. Использование конденсационного утилизатора в котельной малой мощности / Е. П. Коротких, И. Д. Бокало, А. И. Козлов // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. – 2018. – № 4 (13). – С. 37–41.

For citation: Korotkikh, E. P. Use of condensation utilizer in boiler low power/ E. P. Korotkikh, I. D. Bokalo, A. I. Kozlov // Gradostroitelstvo. Infrastruktura. Kommunikatsii. – 2018. – № 4 (13). – Pp. 37–41.

УДК 621.182

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ КОНДЕНСАЦИОННЫХ КОТЛОВ В КОММУНАЛЬНОЙ И ПРОМЫШЛЕННОЙ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКЕ

А. Ю. Садовникова, К.О. Завьялов

*Воронежский государственный технический университет**А. Ю. Садовникова, магистрант кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела**Россия, г. Воронеж, тел.: +7 (980) 241-31-35, e-mail: anastasia_sadovnikova@inbox.ru**К. О. Завьялов, студент кафедры теплогазоснабжения, отопления и вентиляции**Россия, г. Борисоглебск, тел.: +7(47354) 6-53-96, teplosnab_kaf@vgasu.vrn.ru*

Постановка задачи. Конденсационный котел – относительно новый вид отопительного оборудования, в связи с этим возникает вопрос о перспективах его применения в коммунальной и промышленной теплоэнергетике.

Результаты и выводы. Конденсационные котлы постепенно завоёвывают рынок. Они значительно снижают расходы топлива, повышают экологическую безопасность и имеют самый высокий КПД. Конденсационные котлы представлены в ассортименте всех крупных фирм, занимающихся изготовлением отопительного оборудования. Рассмотрены экономические, технологические, экологические и информационные аспекты применения конденсационных котлов. Рассмотрена эффективность применения в различных условиях климата.

Ключевые слова: конденсационный котел, конвекционный котел, теплопередача, отопление.

Введение. В настоящее время актуальной задачей для промышленных и коммунальных потребителей является повышение энергетической эффективности системы теплоснабжения и технологических процессов. В связи с этим, важнейшим фактором является выбор типа основного элемента автономной отопительной системы – котла.

Традиционным типом котла является конвекционный. Коэффициент полезного действия (КПД) этого типа оборудования составляет обычно 90-92 %, но часть энергии теряется с продуктами горения. Для решения этой проблемы сравнительно недавно был разработан другой тип – конвекционный [1, 2, 3].

1. Принцип работы и устройство конденсационного котла. Главная конструктивная особенность конденсационного котла – наличие двух теплообменников (рис.1). В остальном он напоминает устройство обычного, конвекционного, котла. Данный тип котлов состоит из: камеры сгорания, первичного теплообменника (обогревается за счет сгораемого топлива), системы приготовления газоздушной смеси, циркуляционного насоса, конденсационного теплообменника (отбирает вторичную энергию конденсируемых влажных паров воздуха), емкости для сбора конденсата.

Самой сложной конструкцией данного типа котла является конденсационный теплообменник. Температура конденсата и отходящих газов не очень большая, следовательно, есть необходимость в большем отборе тепла. Для решения этой проблемы предусматривают:

– установку вторичного теплообменника на обратный контур отопительной системы (для достижения быстрой конденсации влажных паров отводящих газов за счет снижения точки росы);

– использование внутренних полостей с разным сечением (энергия отбирается интенсивней за счет уменьшения объема проходимого потока теплоносителя);

– увеличение площади отбора температуры (к теплообменнику привариваются ребра в виде спиралей).

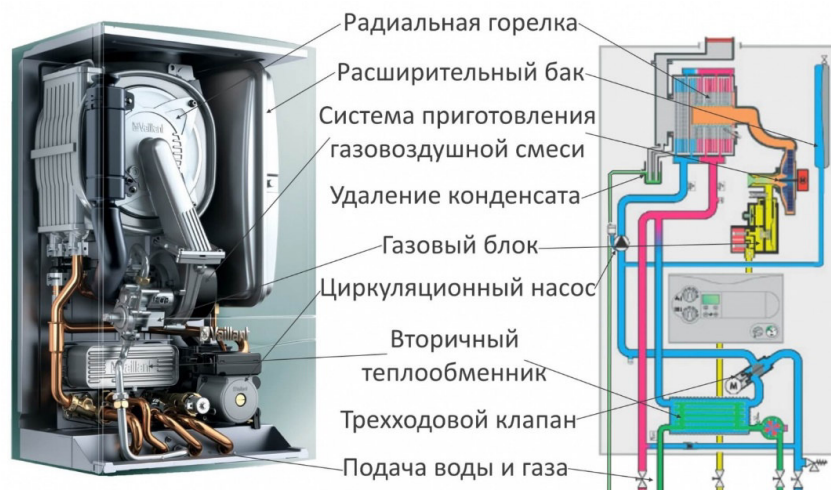


Рис. 1. Конденсационный котел

В теплообменнике, сопряженном с камерой сгорания, выделяющиеся газы охлаждаются до температуры, значительно превышающей точку росы. После чего дымовая смесь принудительно направляется к конденсационному теплообменнику, где происходит ее доохлаждение до температуры ниже точки росы. При этом водяной пар конденсируется на стенках теплообменника, отдавая свою последнюю энергию. Конденсат собирается в специальном резервуаре, откуда по отводящей трубе стекает в канализацию, пройдя через систему для нейтрализации кислот.

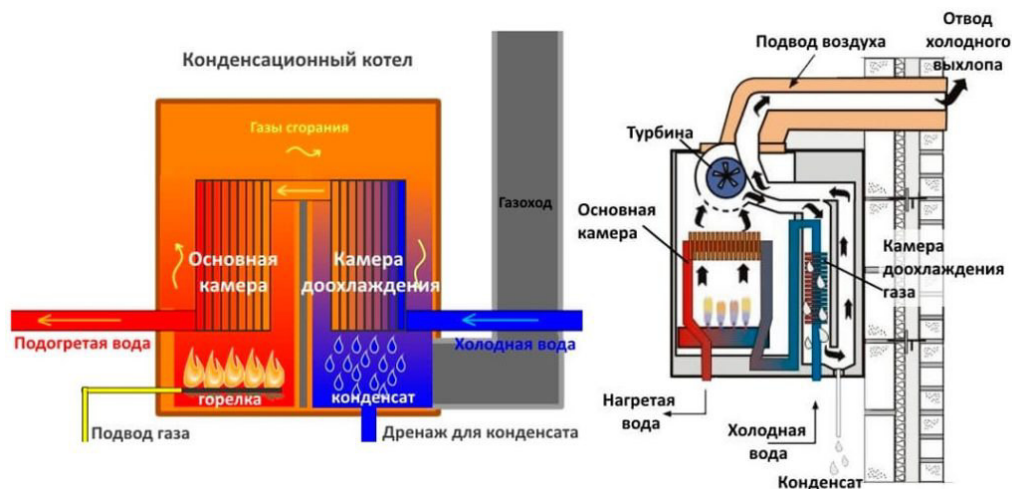


Рис.2. Принцип работы конденсационного котла

2. Сравнение конденсационных и конвекционных котлов. На данный момент подавляющее большинство конденсационных и конвекционных котлов – газовые. Газ является самым оптимальным топливом для любых типов котлов благодаря своим свойствам: высокая надежность поставки, удобство транспортировки, отсутствие необходимости складирования и заготовки, относительно низкая стоимость добычи, высокая экологичность и большая эффективность, обеспеченная высокой удельной теплотой сгорания.

Последнее свойство газа, удельная теплота сгорания, в свою очередь делится на высшую и на низшую. Конвекционные котлы работают на газе с низшей удельной теплотой сгорания, а конденсационные – на газе с высшей удельной теплотой сгорания. Так как принцип работы конденсационного котла, описанный выше, предусматривает использование теплоты

продуктов горения - дымовых газов. Об использовании этой теплоты говорит температура дымовых газов на выходе из котла: у конденсационных котлов – около 70 °С, а у конвекционных – 140 °С.

Теперь можно сказать об одном из явных преимуществ котла данного типа – его КПД. Производители обычно заявляют о КПД 108–109 %, рассчитанном по низшей теплоте сгорания, так как это принято по официальным нормативам, но это является не совсем верным и устаревшим для данного случая. Исходя из таблицы, расположенной ниже, можно говорить о КПД до 97–98 %, в данном случае рассчитанный по высшей теплоте сгорания.

Таблица

Высшая и низшая теплота сгорания различных видов топлива

Вид топлива	Низшая теплота сгорания	Высшая теплота сгорания	Разница, %
Солярка	10,600 ккал/кг	10,210 ккал/кг	3,82
Керосин	10,700 ккал/кг	10,290 ккал/кг	3,98
Метан	9,530 ккал/м ³	8,570 ккал/м ³	11,20
Пропан	23,850 ккал/м ³	21,600 ккал/м ³	10,42
Бутан	30,500 ккал/м ³	28,300 ккал/м ³	7,77

Так же из данной таблицы видно, что именно метан является самым выгодным топливом для конденсационных котлов.

Вторым преимуществом конденсационных котлов является особый экономический эффект при использовании их в низкотемпературных системах. Для подтверждения данного условия рассмотрим основное уравнение теплопередачи:

$$Q = k \cdot F \cdot \Delta t_{cp},$$

где Q – количество теплоты, Вт; k – коэффициент теплопередачи, Вт/(м²·К); F – площадь теплопередающей поверхности теплообменника, м²; Δt_{cp} – средняя разность температур теплоносителей, °С.

Из приведенного уравнения теплопередачи видно, что чем выше разность средних температур теплоносителей, тем интенсивнее идет теплопередача. Получается, что для эффективной работы конденсационного котла требуется условие – температура охлаждающего теплоносителя должна быть как можно ниже точки росы [1, 4, 5].

Температура теплоносителя, в свою очередь, зависит от температуры наружного воздуха. На данный момент времени все современные автономные котельные оборудованы погодозависимой автоматикой, которая обеспечивает работу системы отопления по заданному алгоритму.

Рассмотрим этот момент на примере электронного регулятора температуры – ECL Comfort 110 – применяемый в различных технологических схемах теплоснабжения зданий, в том числе в системах теплоснабжения с котлами. Расчет заданной температуры подаваемого теплоносителя на производится в регуляторе ECL Comfort на основании температуры наружного воздуха. Чем ниже температура наружного воздуха, тем выше заданная температура подаваемого теплоносителя.

ECL Comfort 110 регулирует систему отопления в соответствии с рассчитанной температурой подаваемого теплоносителя под влиянием температуры возвращаемого теплоносителя и /или температуры воздуха в помещении. Заданная температура подаваемого тепло-

носителя определяется 5 настройками: «максимальная температура», «минимальная температура», «наклон», «смещение» и «точка излома» (рис.3).

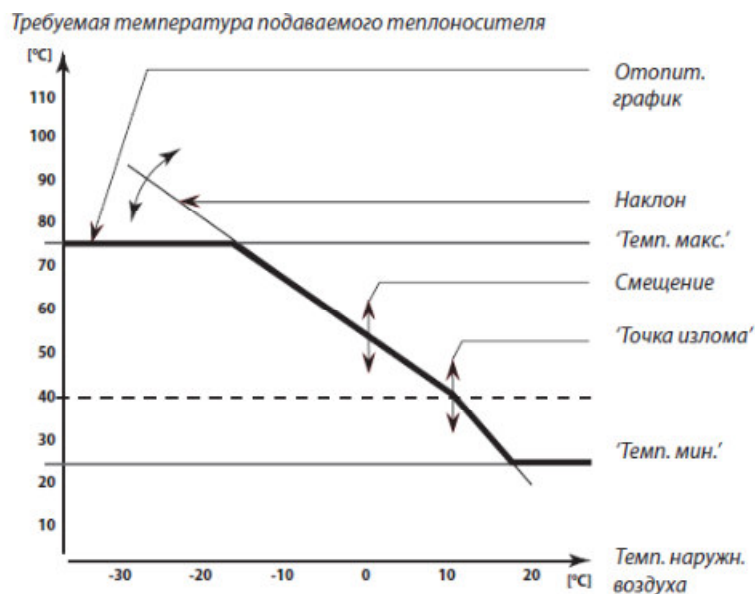


Рис.3. Отопительный график регулятора ECL Comfort 110 (ручная настройка)

Для быстрой настройки данного регулятора используют график с заводскими настройками (условие $T_{\text{комнат}}=20\text{ }^{\circ}\text{C}$). Они предназначены для радиаторных систем, которые обычно являются системами с высокой температурой подаваемого теплоносителя. Для регулирования систем напольного отопления, которые обычно являются системами с низкой температурой подаваемого теплоносителя, необходимо изменить «Наклон» в соответствии с необходимым типом системы.

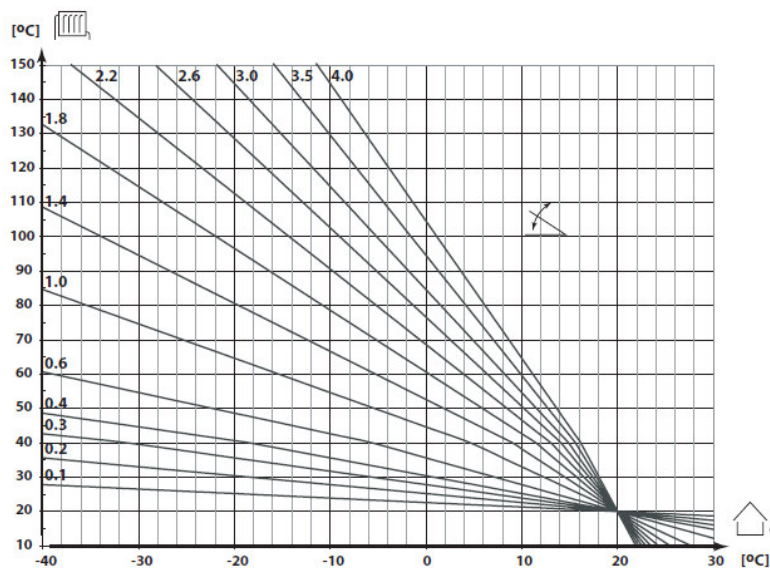


Рис.4. Отопительный график регулятора ECL Comfort 110 (заводская настройка)

По данному отопительному графику (рис.4) видно, что эффективность работы конденсационного котла будет наблюдаться при температуре наружного воздуха от $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ и выше.

Таким образом, применять конденсационные котлы особенно выгодно в южных регионах России и Европы. Так же выгодно их применять для систем отопления поверхностного типа с температурным графиком $40/30\text{ }^{\circ}\text{C}$: стеновые панели, теплый пол. Такие котлы стоит

применять даже на установках с теплоносителем 90/70 °С с погодозависимым регулированием, где время использования теплоты конденсации составляет 60-80 % длительности годового отопительного периода.

Стоит обратить внимание, что данный график составлен из учета поддержания внутри помещения 18-22 °С, следовательно для отопления поддержания меньших температур показатели температур «подачи» и «обратки» соответственно будут меньше. Данный факт говорит о том, что для отопления, например, производственных помещений, промышленных теплиц установка конденсационных котлов будет иметь особую выгоду.

Другое преимущество конденсационных котлов – экологичность. При сгорании органического топлива образуется углекислый газ, дающий при взаимодействии с водой углекислоту. Так же в состав топлива входят примеси соединений: фосфора, азота, серы и т.д. В процессе сгорания из них образуются соответствующие оксиды, которые, соединяясь с водой, тоже дают кислоты. У обычных конвекционных котлов пары воды с примесью кислот выбрасываются в атмосферу, а у конденсационного котла кислоты остаются в конденсате. А так как уровень содержания вредных веществ в дымовых газах у них значительно ниже, чем у конвекционных котлов, то и затраты на возведение дымохода окажутся меньше.

Это происходит благодаря особенному принципу сжигания газа в конденсационных котлах. Принцип «полного предварительного смешивания» состоит в следующем: при запросе на тепло сначала запускается вентилятор горелки, в зависимости от скорости которого открываются клапаны газового блока и газ подмешивается к воздушной струе (за счёт разряжения, создаваемого потоком). Такая схема даёт возможность добиться глубокой модуляции мощности и уменьшить выбросы вредных веществ в атмосферу.

Последнее преимущество – низкий уровень шума и вибрации, что позволяет снизить затраты на звукоизоляцию помещения и виброизолирующие платформы. Такие котлы отлично подходят при размещении котельной на крыше здания жилых помещений.

Конденсационный котел при всех его достоинствах нельзя назвать идеальным отопительным оборудованием, ведь не лишен он и недостатков, которые рассмотрим ниже.

Первым недостатком конденсационного котла является высокая цена из-за сложного технического устройства.

Второй недостаток – нецелесообразность использования в высокотемпературных системах, например в централизованных котельных, где требуется постоянный температурный график подачи теплосети 90/70 °С.

Третий недостаток – чувствительность к качеству забираемого воздуха.

Четвертым недостатком является высокая стоимость используемого теплообменника, из-за которого возникает необходимость – тщательно следить за состоянием всей системы отопления. В такой системе отопления наличие солей кальция, посторонней взвеси, ржавчины – недопустимо. В идеале радиаторы и трубы в системе с конденсационным котлом должны быть новые. Такой теплообменник должен противостоять воздействию кислоты конденсата. Он изготавливается из высококачественной нержавеющей стали и силумина. Теплообменники из нержавеющей стали производят методом сваривания отдельных деталей, они являются надежными в использовании. А теплообменники из силумина являются более дешевыми из-за самого материала и способа изготовления – литья.

К последнему недостатку относится сложность утилизации конденсата. Это в большей степени касается промышленных котлов, в их случае требуется предусмотреть собственную систему для нейтрализации кислот, содержащихся в конденсате. У бытового котла конденсат разбавляется бытовыми стоками и не требует специальной утилизации.

Большое количество информации об устройстве, принципе работы, достоинствах и недостатках, применении, установке и эксплуатации конденсационных котлов можно узнать на семинарах и у представителей фирм-производителей промышленного оборудования. Конденсационные котлы представлены в широком ассортименте многими фирмами в России и

Европе: «Vaillant», «Buderus», «Viessmann», «Ariston», «Baxi», «Protherm», «De Dietrich», «Rinnai», «Bosch», «Ferrol» [1, 6, 7].

Выводы. Конденсационный котел – эффективное новшество, которое, несомненно, оправдывает себя в определенных условиях эксплуатации и является более экологичным оборудованием в отличие от предшественника. На данный ассортимент конденсационных котлов становится шире – как промышленных, так и бытовых, что уже может говорить о спросе на них.

Библиографический список

1. Соколов, Б. А. Котельные установки и их эксплуатация / Б. А. Соколов. - М.: Академия, 2007, – 432 с.
2. Стаскевич, Н. Л. Справочник по газоснабжению и использованию газа / Н. Л. Стаскевич, Г. Н. Северин, Д. Я. Вигдорчик - Л.: Недра, 1990.
3. Мелькумов, В. Н. Критерии оптимальности и условия сравнения проектных решений систем теплоснабжения / В. Н. Мелькумов, К. А. Скляр, С. Г. Тульская, А. А. Чуйкина // Научный журнал строительства и архитектуры. – 2017. – № 4 (48). – С. 29-37.
4. Мелькумов, В. Н. Математическая модель конвективного теплообмена при зарядке теплового аккумулятора системы теплоснабжения / В. Н. Мелькумов, Д. Н. Китаев // Научный журнал строительства и архитектуры. – 2017. – № 1 (45). – С. 40-49.
5. Мелькумов, В. Н. Мониторинг надежности тепловых сетей / В. Н. Мелькумов, С. Н. Кузнецов, К. А. Скляр, А. А. Горских // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. – 2010. – № 1 (17). – С. 52-58.
6. Булыгина, С. Г. Анализ динамики ценовых факторов в технико-экономических обоснованиях систем теплоснабжения / С. Г. Булыгина // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. – 2011. – № 1 (4). – С. 17-23.
7. Сотникова, О. А. Достоинства блочно-модульных котельных / О. А. Сотникова, А. В. Донцов // Высокие технологии в строительном комплексе. – 2018. – № 2. – С. 36-40.

PROSPECTS FOR THE USE OF CONDENSING BOILERS IN UTILITY AND INDUSTRIAL POWER

A. Y. Sadovnikova, K.O. Zavyalov

Voronezh State Technical University

A. Y. Sadovnikova, master student of the Dept. of Heat and Gas Supply and Oil and Gas Business

Russia, Voronezh, tel.: +7 (980) 241-31-35, e-mail: anastasia_sadovnikova@inbox.ru

K. O. Zavyalov, student of the Dept. of Heat and Gas Supply, Heating and Ventilation

Russia, Borisoglebsk, tel.: +7 (47354) 6-53-96, teplosnab_kaf@vgasu.vrn.ru

Statement of the problem. Condensation boiler is a relatively new type of heating equipment, in this regard, the question arises about the prospects of its application in the municipal and industrial heat power engineering.

Results and conclusions. Condensing boilers are gradually gaining market share. They significantly reduce fuel consumption, increase environmental safety and have the highest efficiency. Condensation boilers are presented in assortment of all large firms which are engaged in production of the heating equipment. The economic, technological, environmental and information aspects of the use of condensing boilers are considered. The efficiency of application in different climate conditions is considered.

Keywords: condensation boiler, convection boiler, heat transfer, heating.

Для цитирования: Садовникова А. Ю. Перспективы применения конденсационных котлов в коммунальной промышленной теплоэнергетике / А. Ю. Садовникова, К.О. Завьялов // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. – 2018. – № 4 (13). – С. 42-47.

For citation: Sadovnikova A. Y. Prospects for the use of condensing boilers in utility and industrial power / A. Y. Sadovnikova, K. O. Zavyalov// Gradostroitelstvo. Infrastruktura. Kommunikatsii. – 2018. – № 4 (13). – Pp. 42-47.

УДК 699.81; 62-9

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОГНЕСТОЙКОСТИ РЕГУЛЯТОРА ДАВЛЕНИЯ СИСТЕМ ГАЗОСНАБЖЕНИЯ

Е. В. Плаксина, С.В. Чуйкин

*Воронежский государственный технический университет**Е. В. Плаксина, ст. преподаватель кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела**Россия, г. Воронеж, тел.: +7 (473)271-53-21, e-mail: plaksina@vgasu.vrn.ru**С. В. Чуйкин, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела**Россия, г. Воронеж, тел.: +7(473)271-53-21, e-mail: teplosnab_kaf@vgasu.vrn.ru*

Постановка задачи. При интеграции зарубежного оборудования в отечественные технические системы возникает необходимость в проверке соответствия его основных эксплуатационных и технических параметров существующим требованиям. Примером может служить проверка огнестойкости материалов регулятора давления CRONOS компании «Tartarini» с осевым потоком.

Результаты и выводы. Проведена методика расчета огнестойкости регулятора давления CRONOS компании «Tartarini» на основании теории подобия с заданными граничными условиями для наиболее чувствительных элементов устройства. Согласно проведенным расчетам, конструкции и материалы, применяемые в рассматриваемом оборудовании, соответствуют существующим требованиям и могут применяться на практике.

Ключевые слова: регулятор давления, газоснабжение, теплопроводность.

Введение. В настоящее время в отечественной промышленности наблюдается отставание в ряде направлений, например, в производстве высокоэффективных установок и устройств для газоснабжения. В результате возрастает необходимость закупки новых технологий производства у иностранных компаний, что в свою очередь приводит к необходимости приведения или проверки характеристик нового оборудования в соответствии с существующими отечественными нормами.

Примером может служить серия высокотехнологичных регуляторов CRONOS разработанных для применения в широком диапазоне установок и объединяющих простоту эксплуатации и обслуживания, а так же компактные размеры. Для достижения этого введена новая модульная концепция, которая в сочетании с опытом и технологиями «Tartarini» развитых в регуляторах с осевым потоком, дала возможность изготавливать широкий диапазон исполнений регуляторов по одним конструктивным подходам [1, 2].

Регуляторы работают без использования постороннего источника энергии. Модульность конструкции обеспечивается центральным крестообразным корпусом, который является ключевым компонентом конструкции регулятора, обеспечивающим как горизонтальный поток газа, так и поток под углом 90°. На корпусе собираются остальные компоненты (фланец, привод регулятора, привод монитора, клапан - отсекающий и глушители).

В качестве регулирующего элемента используется плунжерный затвор, перемещаемый поперёк регулятора и разгруженный от действия дифференциального давления на регуляторе. Регуляторы предназначены для эксплуатации на газораспределительных сетях, компрессорных станциях и других объектах газовой промышленности.

При внесении изменений в конструкцию регулятора, влияющих на его технические характеристики [2] вносятся изменения.

- условное давление регуляторов - PN 10,0 МПа (100 кгс/см²)
- условный проход регуляторов - DN25, 50, 80.

Климатическое исполнение регуляторов по ГОСТ 15150:

- для зон с умеренным климатом - исполнение У на температуру окружающей среды от минус 40 °С до плюс 80 °С;

- для всех климатических исполнений - категория размещения 1 по ГОСТ 15150.

Регулятор должен удовлетворять требованиям настоящих технических условий и комплекта документации согласно спецификации, а также требованиям СТО Газпром 2-4.1.-212-2008 и международного стандарта EN 334 [3].

Материалы, применяемые для изготовления регулятора и покупные изделия должны иметь сертификаты и паспорта, подтверждающие их годность и безопасность применения.

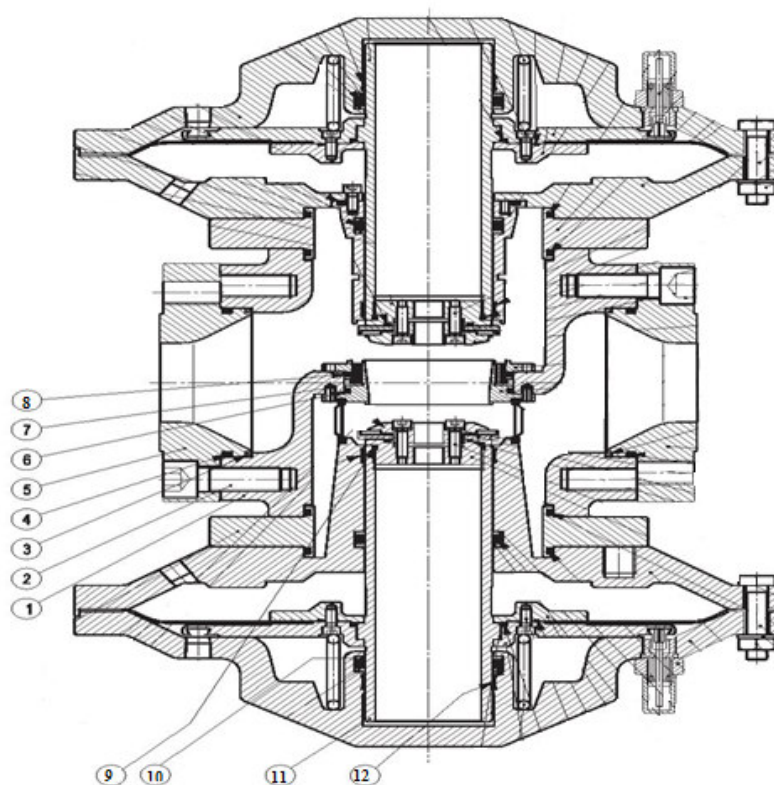


Рис. 1 Схема регулятора давления: 1 - корпус, 2 - винт, 3- металлическая прокладка, 4 - пластина, 5- фланец входа/выхода, 6 - уплотнительное кольцо, 7- эластичный фиксатор, 8- прокладка предохранительно-запорного клапана, 9 - уплотнительное кольцо, 10 - антифрикционное кольцо, 11- затвор, 12- фиксатор прокладки

Уплотнения, прилегающие в регуляторе, изготовлены из бутадиен-нитрильного каучука (рис.1). Бутадиен-нитрильные каучуки (бутадиен-акрилонитрильные каучуки, дивинил-нитрильные каучуки, нитрильные каучуки, БНК, СКН, бреон, бутакрил, бутапрен, крайнак, NBR, нипол N, пербунан N, тербан, хайкар, хемигум, тербан), сополимеры бутадиена с акрилонитрилом общей формулы.

По теплофизическим свойствам резины из БНК практически равноценны резинам из других каучуков: их коэффициент объемного расширения (β) $(4-6) \cdot 10^{-4} \text{ K}^{-1}$, коэффициентом теплопроводности (λ) $0,25 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$, удельная теплоемкость (c) $\sim 2 \text{ кДж/(кг} \cdot \text{К)}$, плотность $1200 \text{ (кг/м}^3\text{)}$, температура горячих газов (продуктов сгорания) $600 \text{ }^\circ\text{C}$.

1. Методика расчета. Изучение любого физического явления сводится к установлению зависимости между величинами, характеризующими это явление. Для сложных физических процессов, в которых определяющие величины могут существенно изменяться в пространстве и времени, установить зависимость между этими величинами очень трудно. В этих случаях очень трудно. В этих случаях на помощь приходит метод математической физики, который исходит из того, что ограничивается промежуток времени и из всего пространства рас-

считается лишь элементарный объем. Это позволяет в пределах элементарного объема малого отрезка времени пренебречь изменением некоторых величин, характеризующих процесс, и существенно упростить анализ [2].

Выбранные таким образом элементарный объем dv и элементарный объем dt , в пределах, которых рассматривается изучаемый процесс, с математической точки зрения являются величинами бесконечно малыми, а с физической точки зрения - величинами еще достаточно большими, чтобы в их пределах можно было игнорировать дискретное строение среды и рассматривать ее как континуум (сплошную). Полученная зависимость является общим дифференциальным уравнением рассматриваемого процесса. Интегрируя дифференциальные уравнения, можно получить аналитическую зависимость между величинами для всей области интегрирования и всего рассматриваемого промежутка времени.

При решении задач, связанных с нахождением температурного поля, необходимо иметь дифференциальное уравнение теплопроводности.

Дифференциальное уравнение теплопроводности находим по формуле (1)

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = \frac{\lambda}{c\rho} \left(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} \right). \quad (1)$$

Уравнение можно записать в следующем виде

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a \nabla^2 t. \quad (2)$$

В цилиндрических координатах уравнение будет иметь вид

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a \left(\frac{\partial^2 t}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial t}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 t}{\partial \varphi^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} \right), \quad (3)$$

где r – радиус-вектор в цилиндрической системе координат; φ – угол.

Уравнение (1) называется дифференциальным уравнением теплопроводности или энергии. Оно устанавливает связь между временным и пространственным изменением температуры в любой точке тела, в которой происходит процесс теплопроводности.

Коэффициент пропорциональности a в уравнении (2) называется коэффициентом температуропроводности и является физическим параметром вещества. Он осуществлен для нестационарных тепловых процессов и характеризует скорость изменения температуры. Если коэффициент теплопроводности характеризует способность тел проводить тепло, то коэффициент температуропроводности является мерой теплоинерционных свойств тела. Из уравнения (1) следует, что изменение температуры во времени $\frac{\partial t}{\partial \tau}$ для любой точки пространства

пропорционально величине a . Иначе говоря, скорость изменения температуры в любой точке тела будет тем больше, чем больше коэффициент температуропроводности a . Поэтому при прочих равных условиях выравнивание температур во всех точках пространства будет происходить быстрее в том теле, которое обладает большим коэффициентом температуропроводности. Величина коэффициента температуропроводности зависит от природы вещества. Например, жидкости и газы обладают большой тепловой инерционностью и, следовательно, малым коэффициентом температуропроводности. Металлы обладают малой тепловой инерционностью, так как они имеют большой коэффициент температуропроводности.

Условия однозначности задаются в виде:

- физических параметров λ, c, ρ ;

- форма и геометрических размеров объектов $l_0, l_1, l_2, \dots, l_n$;
- температуры тела в начальный момент времени $\tau = 0$ $t=t_0=f(x, y, z)$;

В результате решения дифференциального уравнения для пластины получаются следующие уравнения на оси и поверхности:

$$\frac{\vartheta}{\vartheta_0} = \Theta - \text{безразмерная температура};$$

$$\frac{x}{\delta} = X - \text{безразмерная координата};$$

$$\frac{a\tau}{\delta^2} = F_0 - \text{критерий Фурье или безразмерное время};$$

где D_n – безразмерный коэффициент.

С учетом последних обозначений уравнение примет вид

$$\theta = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2 \sin \mu_n}{\mu_n + \sin \mu_n \cos \mu_n}. \quad (4)$$

Для оси пластины $D_1 \cos(0)$ обозначим как некоторую функцию $N(Bi)$. Тогда уравнение можно записать в следующем виде

$$\Theta_{x=0} = N(Bi) \exp(-\mu_1^2 F_0). \quad (5)$$

Для поверхности пластины произведение $D_1 \cos(\mu_1)$ обозначим как некоторую функцию $P(Bi)$ и уравнение

$$\Theta_{x=1} = P(Bi) \exp(-\mu_1^2 F_0). \quad (6)$$

Существует три случая изменения температуры в теле при заданном значении критерия Bi .

- 1) Случай, когда $Bi \rightarrow \infty$ (практически $Bi > 100$).
- 2) Очень малые числа Bi (практически $Bi < 0,1$).
- 3) Критерий $0,1 \leq Bi < 100$.

Случай, когда $Bi \rightarrow \infty$ (практически $Bi > 100$) это наш случай.

Если критерий Bi стремится к бесконечности, то температура поверхности пластины сразу становится равной температуре окружающей среды, в которую помещена пластина.

$$\frac{1}{Bi}$$

При $Bi = \infty$ $X_0 = \frac{1}{Bi} = 0$. Это означает, что точка пересечения касательных к температур-

ным кривым находится на поверхности пластины. Из $Bi = \frac{\delta}{\lambda} \frac{1}{\alpha}$ следует: $Bi \rightarrow \infty$ при задан-

ных физических параметрах и толщине пластины тогда, когда $\alpha \rightarrow \infty$, т.е. когда имеет место очень большая интенсивность отвода тепла от поверхности. В этих условиях процесс охлаждения определяется только физическими свойствами и размерами тела и не зависит от условий охлаждения на поверхности. При этом $\mu_n = (2n-1)\frac{\pi}{2}$, и тогда коэффициент ряда D_n (4)

будем искать по формуле

$$D_n = \frac{2 \sin \mu_n}{\mu_n + \sin \mu_n \cos \mu_n} = \frac{2 \sin \left[(2n-1) \frac{\pi}{2} \right]}{(2n-1) \frac{\pi}{2} + \sin \left[(2n-1) \frac{\pi}{2} \right] \cos \left[(2n-1) \frac{\pi}{2} \right]} = \frac{4(-1)^{n+1}}{\pi(2n-1)}. \quad (7)$$

Общее решение для рассматриваемого случая принимает вид

$$\theta = \frac{4}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^{n+1}}{(2n-1)} \cos \left[\frac{(2n-1)}{2} \pi X \right] \exp \left[- \left(\frac{2n-1}{2} \right)^2 \pi^2 Fo \right]. \quad (8)$$

Тогда температура на оси пластины ($X=0$)

$$\theta_{X=0} = \frac{4}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^{n+1}}{(2n-1)} \exp \left[- \left(\frac{2n-1}{2} \right)^2 \pi^2 Fo \right]. \quad (9)$$

Так как температура на поверхности должна равняться окружающей среды, то при $X=1$ $\Theta = 0$.

Действительно, при $X=1$

$$\theta_{X=1} = \frac{4}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^{n+1}}{(2n-1)} \Theta \exp \left[- \left(\frac{2n-1}{2} \right)^2 \pi^2 Fo \right] = 0. \quad (10)$$

Распределение температуры в пластине при $Fo > 0$, здесь $Fo_1 < Fo_2 < Fo_3 < Fo_4 < \dots < Fo_n$. Как было сказано, при $Fo \geq 0,3$ ряд (4) быстро сходится и ошибка не превышает 1%, если отбросить все члены ряда, кроме первого. При этих условиях уравнение (9) принимает вид:

$$\theta_{X=0} = \frac{4}{\pi} \exp \left[- \left(\frac{\pi}{2} \right)^2 \cdot Fo \right]. \quad (11)$$

Если уравнение (11) прологарифмировать и решить относительно критерия Fo , то получим (12):

$$Fo = \frac{4}{\pi^2} \ln \left(\frac{4}{\pi} \cdot \frac{1}{\Theta_{X=0}} \right). \quad (12)$$

Учитывая, что $Fo = \frac{a\tau}{\delta^2}$, уравнение (12) запишется:

$$\tau = \left(\frac{2\delta}{\pi} \right)^2 \frac{1}{a} \ln \left(\frac{1}{\Theta_{X=0}} \cdot \frac{4}{\pi} \right). \quad (13)$$

2. Результаты расчета. Свойства вулканизаторов наиболее важное свойство резин на основе бутадиен - нитрильного каучука - стойкость к действию агрессивных сред (бензина,

керосина, мазута, смазочных масел, растительных и животных жиров, а также глицерина, этиленгликоля, формальдегида, морской воды, разбавленной H_2SO_4 и HCl). Резины [2 и 3]., содержащие активные наполнители, характеризуются высокими прочностными свойствами, износостойкостью, сопротивлением тепловому старению.

Вулканизат работоспособен при температуре до $120\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Для бутадиен-нитрильного каучука безразмерная температура определяется:

$$\Theta_{X=0} = \frac{t_{x=0} - t_{жс}}{t_0 - t_{жс}} \quad (14)$$

при $t_{x=0}=120\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t_{жс}=600\text{ }^{\circ}\text{C}$,

$$\Theta_{X=0} = \frac{120 - 600}{20 - 600} = 0,83$$

Физические свойства удельная теплоемкость $2\text{ (кДж/кгК)}=2000\text{ (Дж/кгК)}$, плотность $1200\text{ (кг/м}^3\text{)}$; коэффициент теплопроводности $0,25\text{ (Вт/мК)}$.

Для уплотнительного кольца при толщине $\delta=3\text{ (мм)}$ время нагрева до температуры $t_{x=0}=120\text{ }^{\circ}\text{C}$.

По формуле (13):

$$\tau = \left(\frac{2 \cdot 0,03}{3,14} \right)^2 \cdot \frac{1}{\frac{0,25}{2000 \cdot 1200}} \cdot \ln \left(\frac{1}{0,83} \cdot \frac{4}{3,14} \right) = 1483,3\text{ (с)} = 0,412\text{ (часа)}$$

Для уплотнительного кольца при толщине $\delta=5\text{ (мм)}$ время нагрева до температуры $t_{x=0}=120\text{ }^{\circ}\text{C}$.

По формуле (13):

$$\tau = \left(\frac{2 \cdot 0,05}{3,14} \right)^2 \cdot \frac{1}{\frac{0,25}{2000 \cdot 1200}} \cdot \ln \left(\frac{1}{0,83} \cdot \frac{4}{3,14} \right) = 4207,41\text{ (с)} = 1,17\text{ (часа)}$$

Для проверки допущения, что $t_{жс}=600\text{ }^{\circ}\text{C}$ определили время нагрева стали ГС – 20 до температуры $t=600\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Физические свойства для стали удельная теплоемкость $486\text{ (Дж/кг}\cdot\text{град)}$, плотность $7859\text{ (кг/м}^3\text{)}$, коэффициент теплопроводности $52\text{ (Вт/м}\cdot\text{град)}$.

Для стали при толщине $\delta=10\text{ (мм)}$ время нагрева до температуры $t_{x=0}=120\text{ }^{\circ}\text{C}$.

По формуле (13):

$$\tau = \left(\frac{2 \cdot 0,01}{3,14} \right)^2 \cdot \frac{1}{\frac{52}{486 \cdot 7859}} \cdot \ln \left(\frac{1}{0,83} \cdot \frac{4}{3,14} \right) = 1,288\text{ (с)} = 0,0004\text{ (часа)}$$

Для стали при толщине $\delta=20\text{ (мм)}$ время нагрева до температуры $t_{x=0}=120\text{ }^{\circ}\text{C}$.

По формуле (13):

$$\tau = \left(\frac{2 \cdot 0,02}{3,14} \right)^2 \cdot \frac{1}{\frac{52}{486 \cdot 7859}} \cdot \ln \left(\frac{1}{0,83} \cdot \frac{4}{3,14} \right) = 5,32\text{ (с)} = 0,0015\text{ (часа)}$$

Для стали при толщине $\delta=30\text{ (мм)}$ время нагрева до температуры $t_{x=0}=120\text{ }^{\circ}\text{C}$.

По формуле (13):

$$\tau = \left(\frac{2 \cdot 0,03}{3,14} \right)^2 \cdot \frac{1}{\frac{52}{486 \cdot 7859}} \cdot \ln \left(\frac{1}{0,83} \cdot \frac{4}{3,14} \right) = 12,57\text{ (с)} = 0,0035\text{ (часа)}$$

Результаты показывают правомерно сделанные допущения при $t_{x=0}=120\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t_{жс}=600\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Вывод. По результатам расчета для бутадиен-нитрильного каучука при толщине $\delta=3$

(мм), $\tau = 1483,3(C) = 0,412$ (часа), а при $\delta = 5$ (мм), $\tau = 4207,41(C) = 1,17$ (часа). Для проверки допущения, что $t_{ж} = 600$ °С определили время нагрева стали ГС – 20 до температуры $t = 600$ °С. Для стали при толщине $\delta = 10$ (мм) время нагрева до температуры $t_{x=0} = 120$ °С, $\tau = 1,288(C) = 0,0004$ (часа); при толщине $\delta = 20$ (мм), $\tau = 5,32(C) = 0,0015$ (часа); при толщине $\delta = 30$ (мм), $\tau = 12,57(C) = 0,0035$ (часа). Таким образом, согласно проведенным расчетам, конструкции и материалы, применяемые в рассматриваемом оборудовании, соответствуют существующим требованиям и могут применяться на практике.

Библиографический список

1. Мартыненко, Г. Н. Применение газового оборудования «Тартарини» фирмы «ИТГАЗ» в России / Г. Н. Мартыненко, Е. С. Исаева, А. В. Милаева // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. – 2018. – №2(11). – С. 13-21.
2. Гудилин, А. Н. Исследование работы регуляторов давления в газоснабжении / А. Н. Гудилин // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В. Г. Шухова Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. – 2015. – С. 1020-1024.
3. Девирц, Э. Я. Новые типы бутадиен-нитрильных каучуков / Э. Я. Девирц. – М.: ЦНИИТЭнефтехим, 1977. – 56 с.
4. Мирам, А. О. Техническая термодинамика. Тепломассообмен: учебник: рек. УМО РФ. – М.: АСВ, 2011. – 351 с.
5. Баскакова, А. П. Теплотехника: учебник / под ред. А. П. Баскакова. - 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Бастет, 2011. – 324 с.
6. Колодяжный, С. А. Прикладные задачи безопасного функционирования систем газоснабжения / С. А. Колодяжный, Е. А. Сушко, С. А. Сазонова, К. А. Скляров // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. – 2014. – №2(15). – С. 8-17.

DETERMINATION OF THE FIRE RESISTANCE OF THE PRESSURE REGULATOR OF GAS SUPPLY SYSTEMS

E. V. Plaksina, S. V. Chuykin

Voronezh State Technical University

E. V. Plaksina, teacher of the Dept. of Heat and Gas Supply and Oil and Gas Business

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

S. V. Chuykin, PhD in Engineering, Assoc. Prof. of the Dept. of Heat and Gas Supply and Oil and Gas Business

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

Statement of the problem. When integrating foreign equipment into domestic technical systems, there is a need to verify the compliance of its main operational and technical parameters with existing requirements. An example is the verification of fire resistance of materials of the pressure regulator CRONOS of the company «Tartarini» with axial flow.

Results and conclusions. The method of calculating the fire resistance of the pressure regulator CRONOS company «Tartarini» on the basis of the theory of similarity with the given boundary conditions for the most sensitive elements of the device. According to the calculations, the structures and materials used in the equipment under consideration meet the existing requirements and can be applied in practice.

Keywords: pressure regulator, gas supply, thermal conductivity.

Для цитирования: Плаксина, Е.В. Определение огнестойкости регулятора давления систем / Е. В. Плаксина, С. В. Чуйкин // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. – 2018. – № 4 (13). – С. 48-54.

For citation: Plaksina, E. V. Determination of the fire resistance of the pressure regulator of gas supply systems / E. V. Plaksina, S. V. Chuykin, // Gradostroitelstvo. Infrastruktura. Kommunikatsii. – 2018. – № 4 (13). – Pp. 48-54.

ПРАВИЛА НАПИСАНИЯ И ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЕЙ

RULES OF PREPARATION OF ARTICLES

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

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

1.1. *Введение* предполагает:

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

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

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

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

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

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

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

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

6. Обязательным элементом статьи является индекс УДК.

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

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

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

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

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

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

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

13. Ссылки на литературные источники в тексте заключаются в квадратные скобки [1]. Библиографический список приводится после текста статьи на русском 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.