

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ВОЛОГОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ВЕСТНИК
ВОЛОГОДСКОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО
УНИВЕРСИТЕТА

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

Основан в 2018 г.

№ 4 (6) / 2019

СЕРИЯ: ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

ВОЛОГДА
2019

№ 4 (6) / 2019 / ДЕКАБРЬ. Выходит 4 раза в год.

Научный журнал «Вестник Вологодского государственного университета. Серия: Технические науки» включен в Российский индекс научного цитирования (РИНЦ) с 2018 г.

Полнотекстовые версии выпусков научного журнала размещены в свободном доступе на сайте Научной электронной библиотеки (www.elibrary.ru)

Серия: Технические науки

Группы специальностей: 05.02.00 Машиноведение, системы приводов и детали машин;
05.13.00 Информатика, вычислительная техника и управление;
05.23.00 Строительство и архитектура

Учредитель и издатель: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Вологодский государственный университет»

Свидетельство о регистрации СМИ: ПИ № ФС77-75456 от 05 апреля 2019 г. выдано Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор)

Главный редактор

А.А. Кочкин, доктор технических наук, директор Инженерно-строительного института Вологодского государственного университета

Заместители главного редактора:

А.Е. Немировский, доктор технических наук, профессор Вологодского государственного университета,

А.Н. Швецов, доктор технических наук, профессор Вологодского государственного университета

Секретарь

В.А. Раков, кандидат технических наук, доцент Вологодского государственного университета

Члены редколлегии:

А.Н. Алюнов, кандидат технических наук, зам. директора Института машиностроения, энергетики и транспорта Вологодского государственного университета,

В.П. Гусев, доктор технических наук, старший научный сотрудник, зав. лабораторией Научно-исследовательского института строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук (НИИСФ РААСН),

И.В. Зефирова, кандидат технических наук, доцент Вологодской государственной молочно-хозяйственной академии им. Н.В. Верещагина,

К.В. Кияненко, доктор архитектуры, профессор Вологодского государственного университета,

В.И. Леденёв, доктор технических наук, профессор Тамбовского государственного технического университета,

С.В. Лукин, доктор технических наук, профессор Череповецкого государственного университета,

В.И. Римшин, доктор технических наук, профессор Научно-исследовательского института строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук (НИИСФ РААСН),

А.С. Степанов, кандидат технических наук, доцент Вологодского государственного университета,

Л.Э. Шапкина, кандидат технических наук, зам. директора Инженерно-строительного института Вологодского государственного университета,

В.А. Шорин, доктор химических наук, профессор Вологодского государственного университета,

И.Л. Шубин, доктор технических наук, директор Научно-исследовательского института строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук (НИИСФ РААСН)

Переводчик – *Т.В. Рудакова*, кандидат педагогических наук, доцент Вологодского государственного университета

Редакторы – *А.И. Ланькова*, *А.П. Митракова*, *Н.Н. Постникова*

Оригинал-макет – *Н.В. Подхомутова*

Адрес редакции: 160000, г. Вологда, ул. Сергея Орлова, д. 6, каб. 202а; тел.: 8 (8172) 76-91-92, 72-11-55
e-mail: vestniktech@vogu35.ru

ISSN 2658-3399

© ФГБОУ ВО «Вологодский
государственный университет», 2019

MINISTRY OF SCIENCE AND HIGHER EDUCATION OF THE RUSSIAN FEDERATION
FEDERAL STATE BUDGETARY EDUCATIONAL INSTITUTION OF HIGHER EDUCATION
VOLOGDA STATE UNIVERSITY

BULLETIN OF VOLOGDA STATE UNIVERSITY

SCHOLARLY JOURNAL

First published in 2018

No. 4 (6) / 2019

SERIES: TECHNICAL SCIENCIES

VOLOGDA
2019

No. 4 (6) / 2019 / DECEMBER. It is issued 4 times a year.

Scholarly Journal "Bulletin of Vologda State University. Series: Technical sciences" has been included into Russian Science Citation Index (RSCI) since 2018.

Full-text versions of the scholarly journal issues are freely available on the website of Scientific Electronic Library (www.elibrary.ru)

Series: Technical Sciences

Academic areas: 05.02.00 Mechanical engineering, drive systems and machine parts;
05.13.00 Computer science, computer engineering and management;
05.23.00 Construction and architecture

Founder and publisher: Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Vologda State University

Mass Media Registration Certificate: PI No. FS77-75456 dated of April 05, 2019 was issued by the Federal Service for Supervision of Communications, Information Technologies and Mass Communications (Roskomnadzor)

Editor-in-Chief

A.A. Kochkin, Doctor of Engineering, Director of Civil Engineering Institute of Vologda State University

Assistant editors:

A.N. Shvetsov, Doctor of Engineering, Professor of Vologda State University

A.E. Nemirovsky, Doctor of Engineering, Professor of Vologda State University

Secretary:

V.A. Rakov, Candidate of Engineering, Associate Professor of Vologda State University

Members of the Editorial Board:

A.N. Alyunov, Candidate of Engineering, Deputy Director of the Institute of Engineering, Energy and Transport, Vologda State University,

V.P. Gusev, Doctor of Engineering, Senior Researcher, Head of the Laboratory of the Research Institute of Building Physics of the Russian Academy of Architecture and Building Sciences (NIISF RAASN),

I.V. Zefirov, Candidate of Engineering, Associate Professor of Vologda State Dairy and Economics Academy named after N.V. Vereshchagin,

K.V. Kiyanenko, Doctor of Architecture, Professor of Vologda State University,

V.I. Ledenev, Doctor of Engineering, Professor of Tambov State University,

S.V. Lukin, Doctor of Engineering, Professor of Cherepovets State University,

V.I. Rimshin, Doctor of Engineering, Professor of the Research Institute of Building Physics of the Russian Academy of Architecture and Building Sciences (NIISF RAASN),

L.E. Shashkova, Candidate of Engineering, Deputy Director of Civil Engineering Institute of Vologda State University

A.S. Stepanov, Candidate of Engineering, Associate Professor of Vologda State University,

V.A. Shorin, Doctor of Chemistry, Professor of Vologda State University,

I.L. Shubin, Doctor of Engineering, Director of the Research Institute of Building Physics of the Russian Academy of Architecture and Building Sciences (NIISF RAASN)

Translator – *T.V. Rudakova*, Candidate of Pedagogy, Associate Professor of Vologda State University

Editors – *A.I. Lankova*, *A.P. Mitrakova*, *N.N. Postnikova*

Original layout – *N.V. Podhomutova*

Editorial office: 160000, Vologda, Sergeya Orlova st., 6, office 202a; tel.: 8 (8172) 76-91-92, 72-11-55

e-mail: vestniktech@vogu35.ru

Содержание

МАШИНОВЕДЕНИЕ, СИСТЕМЫ ПРИВОДОВ И ДЕТАЛИ МАШИН

<i>Аваев А.А.</i> ТЕПЛОПЕРЕНОС В ХОДЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ВУЛКАНИЗАЦИИ ЭЛАСТОМЕРА В СИММЕТРИЧНОЙ СИСТЕМЕ ЭЛАСТОМЕР-МЕТАЛЛ-ЭЛАСТОМЕР	7
<i>Бормосов Н.А., Белоусова В.П., Втулкин А.А.</i> ИЗГОТОВЛЕНИЕ И ИСПЫТАНИЯ ФОРСУНОК С ВЫСОКИМИ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫМИ СВОЙСТВАМИ.....	10
<i>Дымов Н.Э., Лукин К.С., Осипов С.Ю.</i> РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУР В ОБОЛОЧКАХ, ВЫПОЛНЕННЫХ ИЗ ДЕФОРМИРУЕМЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ	15
<i>Попов И.П.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ВЫНУЖДЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ МЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ. ЧАСТЬ 1	21

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

<i>Крюкова Д.Ю., Суконщиков А.А., Швецов А.Н., Яковлев С.А.</i> МОДЕЛИ ПЕНИТЕНЦИАРНОЙ СОЦИАЛЬНОЙ РАБОТЫ НА БАЗЕ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ПЕТРИ.....	26
<i>Погорелец А.В., Федотовский С.Б.</i> АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ДОКУМЕНТООБОРОТА ПРЕДПРИЯТИЯ ЖИЛИЩНО-КОММУНАЛЬНОГО ХОЗЯЙСТВА.....	31
<i>Ревунов Д.С., Семёнов А.Д.</i> ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЙ КОМПЛЕКС ОПТИМИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ГОРЕНИЯ ТОПЛИВА	36
<i>Сорокин А.Н.</i> МЕТОДЫ АНАЛИЗА ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ С ПОМОЩЬЮ АППАРАТА АГЕНТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫХ G-СЕТЕЙ ПЕТРИ.....	39
<i>Швецов А.Н., Дианов Д.С., Дианов С.В.</i> РАЗРАБОТКА АГЕНТ-ОРИЕНТИРОВАННОЙ МОДЕЛИ ЛЕСНОЙ ЭКОСИСТЕМЫ.....	42
<i>Чертовской В.Д.</i> ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ПРОИЗВОДСТВА КАК РАСПРЕДЕЛЕННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ	47

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

<i>Куницкий В.А., Лукин С.В.</i> СПОСОБ ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ С УТИЛИЗАЦИЕЙ ТЕПЛОТЫ ВОДЫ, СЛИВАЕМОЙ ИЗ ДУШЕВЫХ УСТРОЙСТВ	54
<i>Никитина Е.М.</i> РЕГИОНАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ КАМЕННОЙ ЖИЛОЙ АРХИТЕКТУРЫ ИСТОРИЧЕСКОГО ПОСЕЛЕНИЯ «ГОРОД ЧЕРЕПОВЕЦ».....	58
<i>Никитина Е.М., Махмудова Л.Р.</i> ОЦЕНКА ЗНАЧИМОСТИ ОКТЯБРЬСКОГО МОСТА КАК АРХИТЕКТУРНОГО И ИНФРАСТРУКТУРНОГО ОБЪЕКТА ГОРОДА ЧЕРЕПОВЦА...66	66
<i>Осипов Ю.Р., Лукин К.С.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИКИ СМЕШИВАНИЯ ДРЕВЕСНЫХ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ.....	70
<i>Павлов М.В.</i> МЕТОД РАСЧЕТА ГАЗОЛУЧИСТОГО ОТОПЛЕНИЯ ЗИМНЕЙ ТЕПЛИЦЫ С ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫМ ПОДОГРЕВОМ ПРИТОЧНОГО ВОЗДУХА.....	74
<i>Павлов М.В., Карпов Д.Ф., Князев В.А.</i> КАЧЕСТВЕННО-КОЛИЧЕСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ ТЕПЛОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ В СТРОИТЕЛЬНОЙ ТЕРМОГРАФИИ.....	79
<i>Поляков Т.А., Поварова О.А.</i> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФИБРЫ ИЗ ПОЛИЭТИЛЕНТЕРЕФТАЛАТА ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ СВОЙСТВ ПОЛИСТИРОЛБЕТОНА	83
<i>Уткин В.С., Соловьев С.А.</i> РАСЧЕТ НАДЕЖНОСТИ БУРОИНЪЕКЦИОННЫХ СВАЙ С УШИРЕНИЕМ ПО КРИТЕРИЮ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ГРУНТА ОСНОВАНИЯ.....	86
<i>Сведения об авторах.....</i>	90

CONTENTS

MACHINING, DRIVE SYSTEMS AND MACHINE PARTS

<i>Avaev A.A.</i> HEAT TRANSFER DURING ELASTOMER THERMAL VULCANIZATION IN SYMMETRIC ELASTOMER-METAL-ELASTOMER SYSTEM	7
<i>Bormosov N.A., Belousova V.P., Vtulkin A.A.</i> PRODUCTION AND TESTING OF SPRAY NOZZLES WITH HIGH PERFORMANCE PROPERTIES.....	10
<i>Dymov N.E., Lukin K.S., Osipov S.Yu.</i> HEAT DISTRIBUTION IN COVERS PRODUCED FROM DEFORMED COMPOSITE MATERIALS.....	15
<i>Popov I.P.</i> STUDY OF FORCED MECHANICAL SYSTEMS OSCILLATIONS. PART 1.....	21

COMPUTER SCIENCE, COMPUTER ENGINEERING AND MANAGEMENT

<i>Kryukova D.Yu., Sukonschikov A.A., Shvetsov A.N., Yakovlev S.A.</i> MODELS OF PENITENTIARY SOCIAL WORK ON THE BASIS OF THE PETRI NEURAL NETWORK.....	26
<i>Pogorelets A.V., Fedotovskij S.B.</i> AUTOMATED SYSTEM OF DOCUMENT FLOW AT HOUSING AND COMMUNAL SERVICES ENTERPRISES.....	31
<i>Revunov D.S., Semyonov A.D.</i> SOFTWARE AND HARDWARE COMPLEX OF FUEL BURNING PROCESS OPTIMIZATION.....	36
<i>Sorokin A.N.</i> METHODS OF MANUFACTURING ENTERPRISE INFORMATION SYSTEMS ANALYSIS ON THE BASIS OF AGENT-ORIENTED PETRI G-NETS	39
<i>Shvetsov A.N., Dianov D.S., Dianov S.V.</i> DEVELOPMENT OF AN AGENT-ORIENTED MODEL OF FREST ECOSYSTEM	42
<i>Chertovskoy V.D.</i> INTELLIGENT MANUFACTURING AS DISTRIBUTED CONTROL SYSTEMS	47

CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE

<i>Kunitskiy V.A., Lukin S.V.</i> WAYS OF DECENTRALIZED HOT WATER SUPPLY WITH RECOVERY OF DRAINED WATER HEAT	54
<i>Nikitina E.M.</i> REGIONAL FEATURES OF STONE RESIDENTIAL ARCHITECTURE OF CHEREPOVETS CITY HISTORICAL SETTLEMENT.....	58
<i>Nikitina E.M., Makhmudova L.R.</i> SIGNIFICANCE EVALUATION OF THE OCTOBER BRIDGE AS AN ARCHITECTURAL AND INFRASTRUCTURAL OBJECT OF CHEREPOVETS CITY	66
<i>Osipov Yu.R., Lukin K.S.</i> RESEARCH OF WOOD BULK MATERIALS MIXING KINETICS DURING PRODUCTION OF CONSTRUCTION MATERIALS	70
<i>Pavlov M.V.</i> CALCULATION METHOD OF WINTER GREENHOUSE GAS-FIRED RADIANT HEATING WITH PRE-HEATING OF SUPPLY AIR.....	74
<i>Pavlov M.V., Karpov D.F., Knyazev V.A.</i> QUALITATIVE AND QUANTITATIVE ANALYSIS OF THERMAL IMAGES IN CONSTRUCTION THERMOGRAPHY	79
<i>Polyakov T.A., Povarova O.A.</i> THE USE OF FIBER FROM POLYETHYLENE TEREPHTHALATE TO IMPROVE THE PROPERTIES OF POLYSTYRENE CONCRETE	83
<i>Utkin V.S., Solovyov S.A.</i> RELIABILITY ANALYSIS OF CFA PILES WITH UNDER-REAM ON SOIL BASE BEARING CAPACITY	86
<i>Information about the authors</i>	90



**ТЕПЛОПЕРЕНОС В ХОДЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ВУЛКАНИЗАЦИИ ЭЛАСТОМЕРА
В СИММЕТРИЧНОЙ СИСТЕМЕ ЭЛАСТОМЕР-МЕТАЛЛ-ЭЛАСТОМЕР**

Данная математическая модель представляет собой попытку описания нестационарного теплопереноса в процессе контактной термической вулканизации эластомера в системе эластомер-металл-эластомер. Описание такого процесса весьма затруднительно. Это связано с протеканием физико-химических процессов и изменением теплофизических свойств эластомера в ходе его вулканизации. В случае, когда содержание свободной серы в эластомере относительно невелико, моделирование процесса теплопереноса заметно упрощается. Предлагаемая математическая модель основана на решении системы линейных уравнений теплопроводности. Эта модель может быть использована в современной инженерной практике.

Система эластомер-металл-эластомер, математическое моделирование, контактная термическая вулканизация, свободная сера, слой эластомера, система линейных уравнений теплопроводности, преобразование Лапласа.

В современной промышленности достаточно широко применяют элементы конструкций, представляющие собой стальные пластины с нанесенными слоями эластомера на обеих поверхностях. Покрытия из эластомера используются с целью защиты стали от механического или коррозионного воздействия внешней среды и позволяют применять в конструкторских разработках наиболее экономичные марки стали.

После нанесения на стальную пластину слоев эластомера их подвергают термической вулканизации, которая представляет собой сложный физико-химический процесс, в первой фазе которого происходит плавление свободной серы, сопровождающееся поглощением тепла, после чего происходит вторая фаза – связывание свободной серы, сопровождающееся тепловыделением [1].

В подобных ситуациях математическое моделирование нестационарной теплопроводности в системе эластомер-металл-эластомер приобретает решающее значение. Дело в том, что непосредственный контроль хода теплового процесса весьма затруднителен и приводит к большим погрешностям в измерении температуры в различных точках стали и, в особенности, слоев эластомера.

В эластомере с малым содержанием свободной серы можно пренебречь эффектами поглощения и выделения тепла. Кроме того, изменение теплофизических свойств эластомера в подобных случаях является весьма малым [2], что позволяет при описании нестационарной теплопроводности в ходе вулканизации слоев эластомера считать эти свойства постоянными.

Если оба слоя эластомера одинаковы по толщине и составу ингредиентов, то система эластомер-металл-эластомер становится симметричной, что позволяет дополнительно упростить модель нестационарной теплопроводности такой системы.

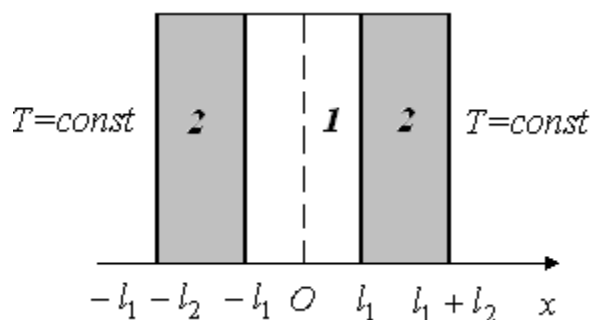


Рис. 1. Схема симметричной системы эластомер-металл-эластомер

На рисунке 1 представлена принципиальная схема рассматриваемой системы. На обе поверхности бесконечной стальной пластины толщины $2l_1$ нанесены покрытия из эластомера, толщина каждого из которых составляет l_2 (на рисунке слои эластомера выделены серым цветом). Плоскость симметрии (на рисунке она представлена пунктирной линией) описывается уравнением $x=0$. Сталь соответствует номер 1, эластомеру – номер 2.

Если бы система не являлась симметричной, то для моделирования процесса внутреннего переноса тепла потребовалось решать систему из трех уравнений теплопроводности. В предлагаемой модели система сводится к двум уравнениям – для стали (1) и слоя эластомера (2):

$$\frac{\partial t_1(x, \tau)}{\partial \tau} = a_1 \frac{\partial^2 t_1(x, \tau)}{\partial x^2}; \quad (1)$$

$$(0 < \tau < +\infty; 0 < x \leq l_1)$$

$$\frac{\partial t_2(x, \tau)}{\partial \tau} = a_2 \frac{\partial^2 t_2(x, \tau)}{\partial x^2}, \quad (2)$$

$$(0 < \tau < +\infty; l_1 < x < l_1 + l_2),$$

где $t_i(x, \tau)$ – температура ($^{\circ}C$) слоя системы с номером i в точке с координатой x в момент времени τ, c ; a_i – коэффициент теплопроводности соответствующего материала, m^2/c ($i = 1; 2$).

При решении системы уравнений (1)–(2) предлагается использовать краевые условия:

$$t_1(x, 0) = t_2(x, 0) = t_0 = const; \quad (3)$$

$$\frac{\partial t_1(0, \tau)}{\partial x} = 0; \quad (4)$$

$$t_1(l_1, \tau) = t_2(l_2, \tau); \quad (5)$$

$$\lambda_1 \frac{\partial t_1(l_1, \tau)}{\partial x} = \lambda_2 \frac{\partial t_2(l_1, \tau)}{\partial x}; \quad (6)$$

$$t_2(l_1 + l_2) = T = const; \quad (7)$$

где λ_i – коэффициент теплопроводности, $Bm/(m \cdot ^{\circ}C)$; T – температура на поверхностях $x = -l_1 - l_2$ и $x = l_1 + l_2$ системы, $^{\circ}C$.

Начальное условие (3) соответствует постоянному значению температуры во всех точках обеих пластин в момент времени $\tau = 0$.

Граничное условие (4) отвечает условию симметрии системы, т.е. отсутствию теплообмена через плоскость $x = 0$.

Граничные условия (5)–(6) соответствуют так называемому идеальному тепловому контакту стали и эластомера, когда на поверхностях $x = -l_1$ и $x = l_1$ имеет место равенство температур (5) и тепловых потоков (6).

Граничное условие (7) описывает значение температуры на поверхностях $x = -l_1 - l_2$ и $x = l_1 + l_2$, что соответствует схеме контактной термической вулканизации.

Решение системы уравнений (1)–(2) для краевых (3)–(7) проведено при использовании преобразований Лапласа и может быть представлено в виде

$$t_1(x, \tau) = T + \sum_{m=1}^{\infty} \frac{A_m \cos\left(\mu_m \frac{x-l_1}{l_1}\right) + B_m \sin\left(\mu_m \frac{x-l_1}{l_1}\right)}{C_m} e^{-\mu_m^2 Fo}, \quad (8)$$

$$t_2(x, \tau) = T + \sum_{m=1}^{\infty} \frac{A_m \cos\left(K_2 \mu_m \frac{x-l_1}{l_1}\right) + K_1 B_m \sin\left(K_2 \mu_m \frac{x-l_1}{l_1}\right)}{C_m} e^{-\mu_m^2 Fo}, \quad (9)$$

где

$$A_m = (T - t_0) \cos \mu_m; \quad B_m = -(T - t_0) \sin \mu_m;$$

$$C_m = -\frac{1}{2} \mu_m K_1 [\cos \mu_m \cdot \sin(K_2 \mu_m) + K_2 \sin \mu_m \cdot \cos(K_2 \mu_m)] -$$

$$-\frac{1}{2} \mu_m [\sin \mu_m \cdot \cos(K_2 \mu_m) + K_2 \cos \mu_m \cdot \sin(K_2 \mu_m)];$$

$$K_1 = \sqrt{\frac{a_2}{a_1}} \frac{\lambda_1}{\lambda_2}; \quad K_2 = \sqrt{\frac{a_1}{a_2}} \frac{l_2}{l_1};$$

$Fo = \frac{a \tau}{l^2}$ – критерий Фурье; $\mu_m > 0$ ($m = 1, 2, \dots$) – корни характеристического уравнения

$$\cos \mu \cdot \cos(K_2 \mu) - K_1 \sin \mu \cdot \sin(K_2 \mu) = 0.$$

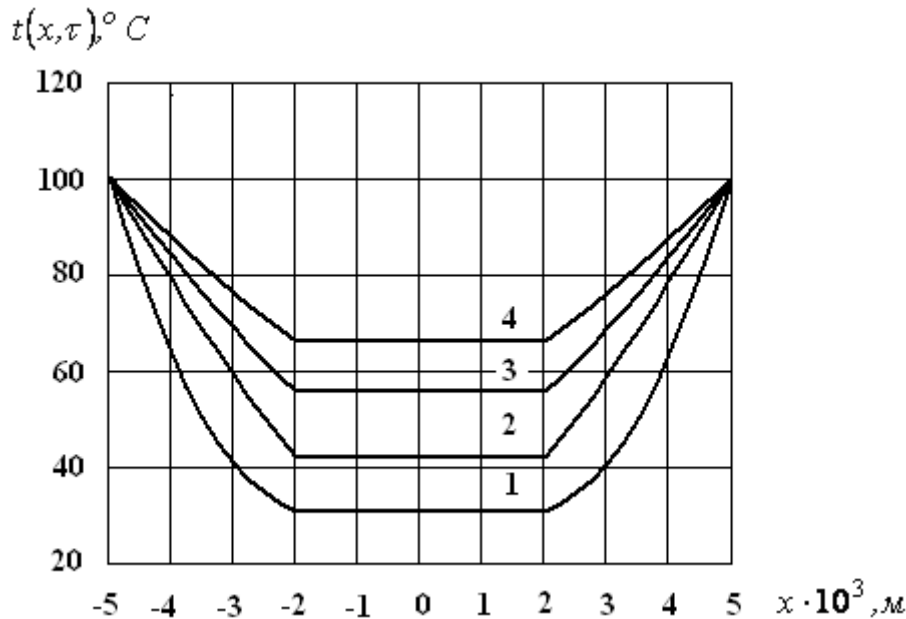


Рис. 2. Расчетные линии нестационарного температурного поля

На рисунке 2 представлены результаты расчетов четырех линий нестационарного температурного поля, проведенные в соответствии с решением (8)–(9).

Расчеты выполнены для случая вулканизации слоев эластомера марки 2566, нанесенных на пластину из стали марки Ст. 3. Значения параметров при этом составляли: $l_1 = 2.0 \cdot 10^{-3} \text{ м}$; $l_2 = 3 \cdot 10^{-3} \text{ м}$; $t_0 = 30^\circ \text{ C}$; $T = 100^\circ \text{ C}$.

Линии 1, 2, 3, 4 соответствуют следующим значениям времени: $\tau_1 = 10 \text{ с}$; $\tau_2 = 45 \text{ с}$; $\tau_3 = 90 \text{ с}$; $\tau_4 = 135 \text{ с}$.

Экспериментальная проверка расчетов нестационарных температурных полей в соответствии с предложенной математической моделью доказала возможность ее применения в инженерной практике при установлении оптимальных режимов контактной тер-

мической вулканизации покрытий эластомера для симметричной системы эластомер-металл-эластомер.

Литература

1. Аваев, А. А. Аналитические модели теплопереноса в резиноталлических системах в процессах термической вулканизации резиновых обкладок при малой концентрации вулканизирующего агента / А. А. Аваев, Ю. Р. Осипов // Вестник Череповецкого государственного университета. – 2015. – № 5 (66). – С. 5–9.

2. Лукомская, А. И. Тепловые основы вулканизации резиновых изделий / А. И. Лукомская, П. Ф. Баденков, Л. М. Кепперша. – Москва : Химия, 1972. – 359 с.

А.А. Аваев

HEAT TRANSFER DURING ELASTOMER THERMAL VULCANIZATION IN SYMMETRIC ELASTOMER-METAL-ELASTOMER SYSTEM

This mathematical model is an attempt to describe unsteady heat transfer during contact thermal vulcanization of an elastomer in the elastomer-metal-elastomer system. The description of this process is very difficult. This is due to the occurrence of physicochemical processes and the change in the thermophysical properties of the elastomer during its vulcanization. In the case when the content of free sulfur in the elastomer is relatively small, modeling of the heat transfer process is simplified. The mathematical model being proposed is based on the solution of the system of heat conduction linear equations. This model can be used in modern engineering practice.

Elastomer-metal-elastomer system, mathematical modeling, contact thermal vulcanization, free sulfur, elastomer layer, system heat conduction linear equations, Laplace transform.



*Н.А. Бормосов, В.П. Белоусова, А.А. Втулкин
Вологодский государственный университет*

ИЗГОТОВЛЕНИЕ И ИСПЫТАНИЯ ФОРСУНОК С ВЫСОКИМИ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫМИ СВОЙСТВАМИ

Проанализированы конкурентные преимущества технологий порошковой металлургии по отношению к технологиям литья и обработки давлением. Представлены результаты проектирования конструкции пресс-формы и технологии изготовления изделий седьмой группы сложности – плоско-факельных распылителей (форсунок) с применением метода холодного прессования с последующим вакуумным спеканием. В результате экспериментальных исследований гидродинамических и теплообменных характеристик форсунок установлены оптимальные режимы распыления для обеспечения требуемых параметров диспергирования охлаждающей жидкости. Перспективность развития технологий порошковой металлургии базируется на их ресурсосберегающем потенциале, подтверждается быстрыми темпами роста в странах Западной Европы, США, Японии.

Технологии порошковой металлургии, плоско-факельные распылители, параметры диспергирования, эксплуатационные свойства.

В условиях инновационного пути развития экономики Российской Федерации производство металлических порошков и спеченных изделий из порошковых материалов – перспективная развивающаяся отрасль промышленного производства. В научном аспекте эта отрасль объединяет порошковую металлургию, покрытия из порошковых композиций и композиционные материалы. Фундаментальные науки – физика твердого тела, физическая и неорганическая химия – составили основу теоретической базы развития данных направлений.

Императивным признаком, отличающим металлургию порошковую от металлургии классической, безусловно, является отсутствие расплавления основного компонента шихты. Для распространенных составов шихты конструкционного назначения таким компонентом служит железо, имеющее температуру плавления 1539°C. Спекание же деталей на основе железо-углеродистой шихты производится при температуре 1260°C. Современные методы порошковой металлургии относятся к ресурсосберегающей технологии, так как при этом практически 100% металлов в виде порошков расходуется по прямому назначению. Среди применяющихся методов получения заготовок для деталей машин технологии порошковой металлургии зачастую имеют конкурентные преимущества по отношению к технологиям литья и обработки давлением. Технологии порошковой металлургии позволяют производить изделия и создавать принципиально новые материалы, получение которых в рамках традиционных технологий плавильной металлургии затруднено или невозможно [1]. Перспективность развития технологий порошковой металлургии подтверждается быстрыми темпами роста в странах Западной Европы, США, Японии.

Значимым с точки зрения обеспечения требуемых потребительских свойств продукции из порошковых материалов является выбор технологической схемы

производства. Здесь существенное влияние оказывает способ получения порошка, влияющий на форму частиц и, соответственно, на технологические свойства шихты – уплотняемость и прессуемость. При решении вопроса о переводе литых (компактных) деталей на изготовление методом порошковой металлургии учитывается серийность продукции, размеры, форма, масса и ряд других технологических, технических и производственных факторов. При изготовлении продукции общемашиностроительного применения из порошков по традиционной технологии, включающей такие этапы, как смешивание порошков, формование заготовки и последующее твердофазное или жидкофазное спекание в вакууме или защитной атмосфере, предъявляется и ряд дополнительных требований: высокий качество точности детали, высокая степень плотности материала.

При переводе деталей на изготовление методом порошковой металлургии обеспечивается возможность замены легированных сталей, цветных металлов и их сплавов на порошковые материалы, в частности на железо-графит и бронзо-графит, а применение электроконтактных композиций сокращает расход драгоценных металлов – серебра, иридия и платины. Практикой подтверждена перспективность перевода деталей на данные технологии и за счет сокращения операций производственного цикла в 2,0–2,5 раза, повышения производительности труда в металлообработке, что актуально в плане решения стратегических задач развития технологий. Преимущества порошковой металлургии проявляются и в снижении первоначальных инвестиционных вложений. Развитие технологий порошковой металлургии также способствует повышению ресурсной устойчивости металлургии плавильной [2].

Необходимо констатировать, что рост промышленного производства (автомобилестроения, электротехнической, станкостроительной и инструментальной

ной промышленности, сельскохозяйственного машиностроения) сегодня значительно опережает рост производства продукции в виде спеченных порошковых изделий. Представляется оправданным отметить, что практически около половины всего объема потребности в изделиях порошковой металлургии общемашиностроительного назначения составляют такие изделия, которые возможно переводить на данную технологию, не прибегая дополнительно к опытной доработке. При этом доля продукции, требующая практических испытаний и экспериментальных работ, составляет порядка 15–25%. Преимущественно методом порошковой металлургии производятся изделия крупносерийной программы выпуска массой от 80 до 1000 г простой и средней сложности.

В то же время анализ номенклатуры продукции, изготавливаемой широким спектром методов и технологий порошковой металлургии, позволяет констатировать ее разнообразие и конструктивную сложность, широкий диапазон изделий по назначению, форме, массе. Чем сложнее форма детали, тем существеннее проявляются экономические преимущества перевода деталей на данную технологию. При этом необходимо обратить внимание и на организацию участков по производству спеченных порошковых изделий и в условиях неспециализированных предприятий машиностроения. Тем самым обеспечивается база для развития инженерного бизнеса в условиях технологического взаимодействия металлургии и машиностроения с учетом приоритетов в развитии промышленного комплекса региона [3].

Повышение эксплуатационных свойств спеченных изделий обеспечивается как оптимизацией химического состава шихты, так и посредством освоения инновационных инженерных решений в области совершенствования важнейших операций технологического процесса порошковой металлургии – прессования и спекания. Занимаясь в течение ряда лет решением вопросов, связанных с технологиями, использующими диспергированные материалы, в рамках обозначенной проблемы, авторами работы накоплен определенный опыт разработки оригинальных конструкторских решений по проектированию пресс-форм для изготовления деталей седьмой (наивысшей) группы сложности.

В частности, к деталям наивысшей сложности относятся широкоугольные плоско-факельные форсунки щелевого типа. Они нашли широкое применение в практике непрерывной разливки металла. Форсунки данного типа позволяют обеспечить лучшее распределение воды по ширине крупных слябов. Также они удобны при установке на мощных машинах непрерывной разливки стали в узком межроликном пространстве. Значимы и вопросы рационального использования воды для охлаждения металла и элементов оборудования машин [1].

На рисунке 1 представлен чертеж плоско-факельного водяного распылителя (форсунки). Геометрия распылителя (форсунки): площадь выходного отверстия составляет $19,5 \text{ мм}^2$, фронтальный угол раскрытия факела в рабочем режиме – 140° , боковым углом – 3° .

Деталь относится к наивысшей (седьмой) группе сложности. Предназначена для зоны вторичного ох-

лаждения в машинах непрерывного литья заготовок, которая играет важную роль в процессе формирования структуры стальных заготовок. При модернизации системы вторичного охлаждения, конструкция которой в значительной мере определяет качество поверхности и внутреннюю структуру слитка, необходимы технические решения, позволяющие рационально организовать систему охлаждения.

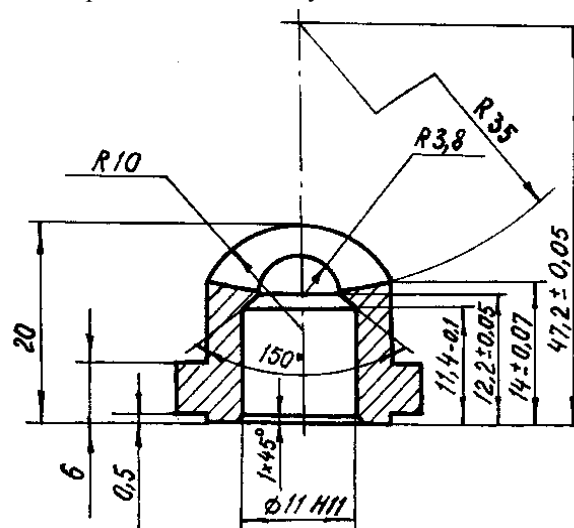


Рис. 1. Плоско-факельный водяной распылитель

Технология изготовления распылителей методом порошковой металлургии обеспечивает минимальный разброс характеристик сопел. Определенное сочетание режимных параметров технологических процессов подготовки шихты, холодного формования и вакуумного спекания позволяет получить высокую размерную стабильность сопел. Достигается снижение разброса гидродинамических характеристик в пределах крупных партий до 3÷5%. Корпуса форсунок формируются в специальной пресс-форме за один ход рабочего органа пресса с минимальным количеством отходов порошкообразной шихты [1]. Использование композиционного железохромистого материала, получаемого методом механического легирования и спекания в вакууме, обеспечивает высокую стойкость форсунок к коррозионно-эрозионным воздействиям при повышенных температурах и в агрессивных средах. Применение в шихте жидкофазного заполнителя и калибровки обеспечивает достаточный уровень механических свойств, которые могут быть изменены в соответствии с конкретными условиями эксплуатации.

На конструкцию пресс-формы для изготовления плоско-факельной водяной форсунки получен патент. Изготовлена пресс-форма и опытные образцы форсунок. Установлено, что технология изготовления распылителей на основе типового метода порошковой металлургии обеспечивает стабильность геометрии сопла и минимальный диапазон разброса его характеристик.

Сравнительное исследование капельного спектра форсунки, изготовленной методом порошковой металлургии, и аналогичной форсунки фирмы LENCLEER (Германия), изготовленной механической обработкой, показало, что качество диспергирования жидкости разработанных сопел вполне соответствует необходимым требованиям (рис. 2).

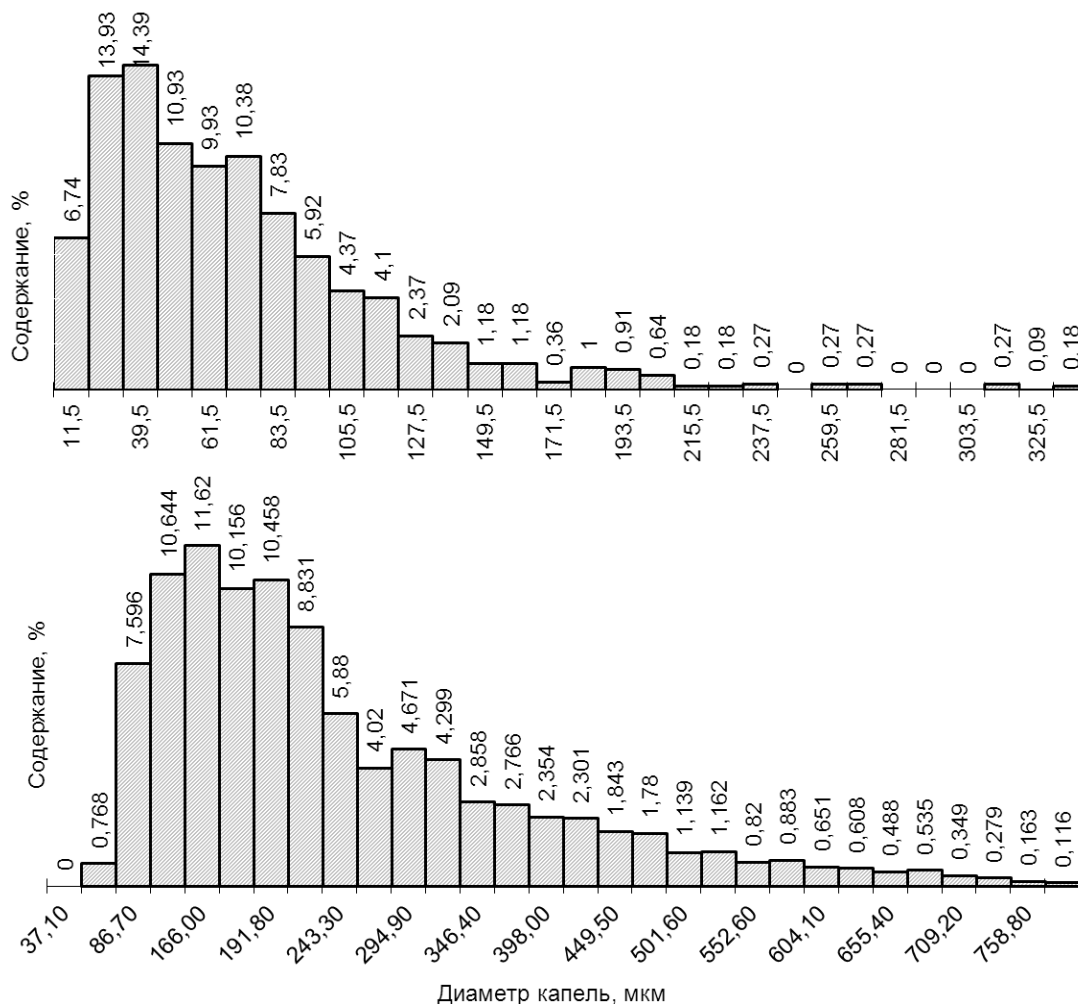


Рис. 2. Распределение капель по размерам:
 а) форсунка фирмы LECHLER (водовоздушное охлаждение); б) форсунка VoГУ, изготовленная методом порошковой металлургии (водяное охлаждение)

Таблица

Расчет плоскофакельной форсунки

№	Параметр	Давление воды в системе, МПа				
		0,05	0,10	0,15	0,20	0,25
1	2	3	4	5	6	7
1	Расход воды, $\times 10^{-4}, \text{ м}^3/\text{сек}$	1,25	1,45	1,74	1,95	2,18
2	Площадь выходного отверстия форсунки, $\times 10^{-5} \text{ м}^2$	1,95				
3	Средний объем диспергированной капли, $\times 10^{-9} \text{ м}^3$ при высоте установки форсунки от охлаждаемой поверхности:					
	- 0,25 м	0,90	0,62	0,46	0,41	0,31
	- 0,35 м	0,48	0,39	0,21	0,19	0,15
4	Квадрат среднеповерхностного размера диспергированной капли (R_{02}^2), $\times 10^{-6} \text{ м}^2$:					
	- 0,25 м	0,46	0,37	0,32	0,29	0,23
	- 0,35 м	0,29	0,21	0,17	0,15	0,12
5	Расчетная концентрация капель, $\times 10^6 \text{ л}/\text{м}^3$:					
	- 0,25 м	0,700	0,835	1,016	1,130	1,200
	- 0,35 м	0,420	0,450	0,800	0,870	1,110
6	Средняя скорость движения капли в потоке, $\text{м}/\text{сек}$:					
	- 0,25 м	3,80	4,40	5,30	5,93	6,64
	- 0,35 м	4,40	5,10	6,10	6,84	7,66
	- 0,45 м	4,80	5,55	6,71	7,53	8,43

1	2	3	4	5	6	7
7	Угол раскрытия факела, град					
	фронтальный γ	130	137	140	140	140
	боковой β	3	3	3	3	3
8	Площадь орошения, м ²					
	- 0,25 м	0,053	0,063	0,070	0,070	0,070
	- 0,35 м	0,140	0,160	0,170	0,170	0,170
	- 0,45 м	0,240	0,027	0,300	0,300	0,300
9	Плотность орошения, $\times 10^{-3} \text{ м}^3 / (\text{м}^2 \cdot \text{сек})$:					
	- 0,25 м	2,35	2,28	2,48	2,76	3,11
	- 0,35 м	0,89	0,91	1,02	1,13	1,28
	- 0,45 м	0,52	0,54	0,58	0,64	0,73
10	Коэффициент теплоотдачи форсунки, $\text{Вт} / (\text{м}^2 \cdot \text{°C})$:					
	- 0,25 м	636	707	896	1010	1210
	- 0,35 м	279	250	431	464	663
	- 0,45 м	194	237	280	310	384

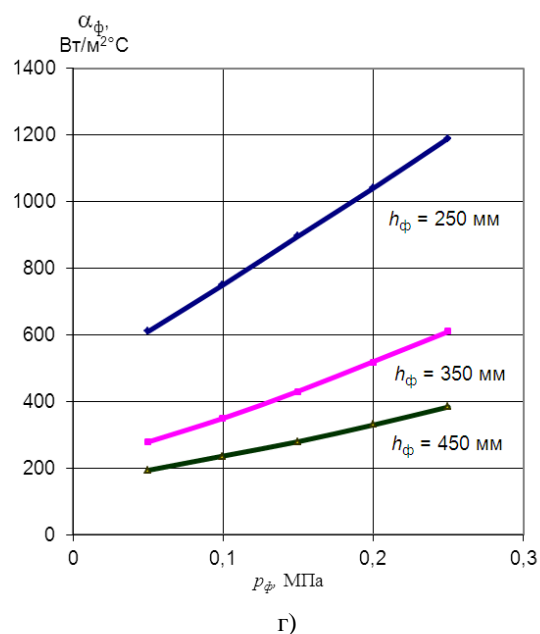
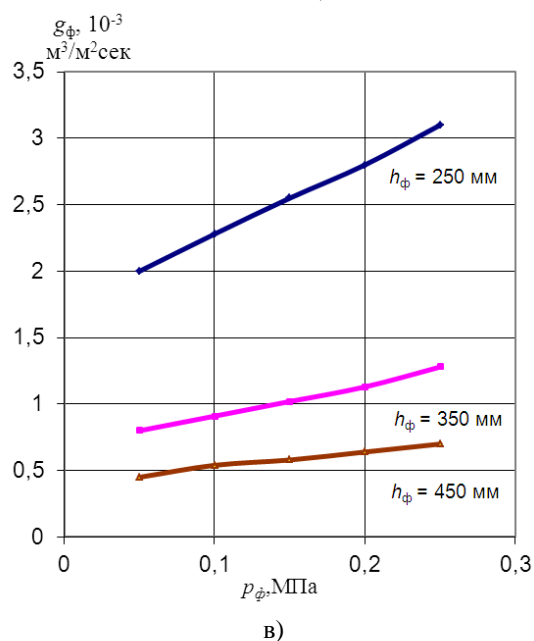
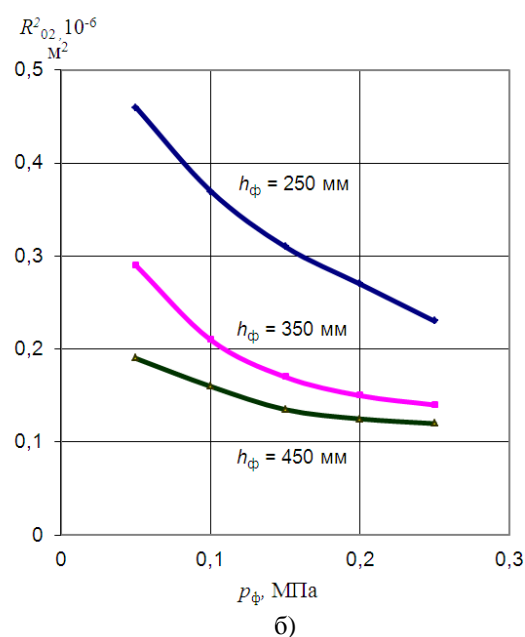
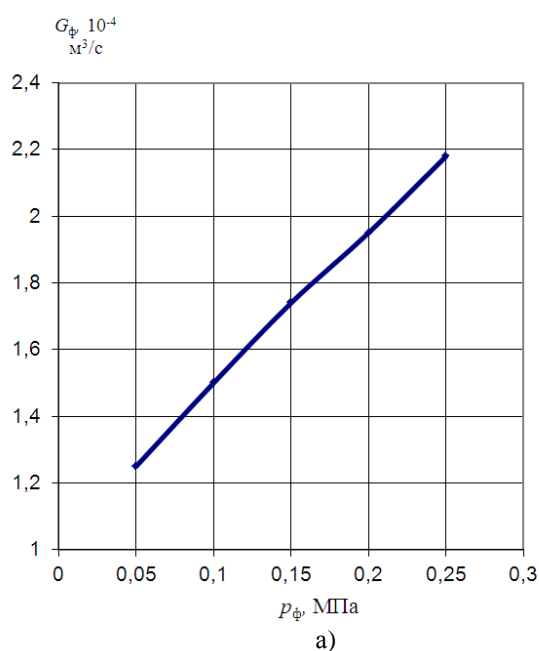


Рис. 3. Экспериментальные зависимости работы форсунки: а) расхода жидкости $G_{\text{ф}}$ от давления перед форсункой $P_{\text{ф}}$; б) квадрата среднеповерхностного радиуса диспергированной капли (тонина распыла) R^2_{02} от давления перед форсункой $P_{\text{ф}}$; в) плотности орошения факела $g_{\text{ф}}$ от давления перед форсункой $P_{\text{ф}}$; г) коэффициента теплоотдачи $\alpha_{\text{ф}}$ от давления перед форсункой $P_{\text{ф}}$. $h_{\text{ф}}$ – высота установки форсунки

Исследования гидродинамических и теплообменных характеристик низконапорной плоско-факельной форсунки, изготовленной в лаборатории ВоГУ методом порошковой металлургии, проводились на экспериментальном стенде по разработанной методике [4, 5]. Результаты исследований приведены в таблице. На рисунке 3 показаны экспериментальные зависимости, характеризующие основные технологические параметры работы плоскофакельной форсунки.

На рисунке 3а изображена экспериментальная зависимость объемного расхода воды через форсунку от давления воды перед отверстием форсунки. В небольшом диапазоне давлений эта зависимость примерно линейная.

На рисунке 3б показана зависимость квадрата среднего радиуса, характеризующего среднюю площадь поверхности капель, от давления на разной высоте от форсунки. Средняя площадь поверхности капель с ростом давления уменьшается, стремясь к асимптотическому пределу, причем этот предел не зависит от расстояния до форсунки.

На рисунке 3в показана зависимость изменения плотности орошения факела форсунки от давления на различной высоте.

На рисунке 3г показана зависимость среднего расчетного коэффициента теплоотдачи от давления на различной высоте от форсунки. С ростом давления коэффициент теплоотдачи возрастает, причем, чем меньше высота, тем сильнее зависимость коэффициента от давления. При большей высоте, при одинаковом давлении коэффициент теплоотдачи меньше. Эту зависимость в небольшом диапазоне давлений также можно считать примерно линейной.

Реализация предлагаемой разработки по изготовлению плоско-факельных распылителей методом порошковой металлургии кроме обеспечения высоких эксплуатационных свойств данной продукции имеет и значимую экологическую составляющую, в частности: из технологического процесса исключены экологически опасные процессы сталеплавильного производства и обработки металлов резанием; имеет место безотходная консолидация порошковой шихты в изделие при прессовании и спекании; в технологическом процессе не используются смазочно-охлаждающие технологические среды [6].

Разработана конструкция пресс-формы для изготовления методом порошковой металлургии изделий наивысшей сложности – плоско-факельных распылителей водной среды для зоны вторичного охлаждения машин непрерывного литья заготовок. Пресс-форма адаптирована к быстрой переналадке для изготовления форсунок с требуемыми геометрическими параметрами факела. Конструкция пресс-формы признана изобретением. Важным преимуществом предложенной технологии изготовления форсунок является возможность обеспечения оптимизации гидродинамических и теплообменных характеристик, влияющих на качество диспергирования жидкости.

Литература

1. Шичков, А. Н. Управление вторичным охлаждением машин непрерывного литья стали / А. Н. Шичков, Н. А. Бормосов, В. П. Белоусова. – DOI: 10.18721/JEST.240209 // Научно-технические ведомости СПбПУ. Естественные и инженерные науки. – 2018. – Т. 24, № 2. – С. 104–118.
2. Белоусов, А. Л. Повышение ресурсной устойчивости развития металлургического комплекса / А. Л. Белоусов, В. П. Белоусова, М. М. Андропова // Региональная экономика: теория и практика. – 2008. – № 15 (72). – С. 52–55.
3. Белоусов, А. Л. Вопросы развития промышленного комплекса в аспекте реализации специальных инвестиционных контрактов А. Л. Белоусов // Управление пространственным развитием территорий: глобальные тренды и региональные приоритеты : материалы научно-практической конференции. – 2019. – С. 138–140.
4. Калягин, Ю. А. Тепловые процессы в зоне вторичного охлаждения машины непрерывного литья заготовок: монография / Ю. А. Калягин, Н. А. Бормосов, С. В. Лукин. – Череповец : ЧГУ, 2005. – 168 с.
5. Экспериментальный стенд и методика исследования форсунок при охлаждении металла в МНЛЗ / Ю. А. Калягин, Н. А. Бормосов, А. М. Ламухин [и др.] // Сталь. – 2003. – № 6. – С. 20–23.
6. Белоусова, В. П. Инженерные и экономические вопросы экологии : учебное пособие / В. П. Белоусова, А. Л. Белоусов. – Вологда : ВоГТУ, 2008. – 108 с.

N.A. Bormosov, V.P. Belousova, A.A. Vtulkin

PRODUCTION AND TESTING OF SPRAY NOZZLES WITH HIGH PERFORMANCE PROPERTIES

The competitive advantages of the powder metallurgy technologies over the technology of casting and pressure shaping have been analyzed. The results of the press die design and the technology of production of the items of the seventh complexity group – flat flare sprayers (sprayer nozzles) with the use of colds pressure method with further vacuum sintering have been presented. The experimental research of hydrodynamic and heat transfer characteristics of spray nozzles resulted in defining of the optimum regimes of spraying to ensure the required parameters of coolant fluid dispersion. Exploitability of the development of the powder metallurgy technologies are based on their resources-saving potential and are proved by high growth rates in the countries of Western Europe, the USA, Japan.

Powder metallurgy technologies, flat flare sprayers, dispersion parameters, performance properties.



Н.Э. Дымов, К.С. Лукин
 Вологодский государственный университет
С.Ю. Осипов
 Тверской государственный университет

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУР В ОБОЛОЧКАХ, ВЫПОЛНЕННЫХ ИЗ ДЕФОРМИРУЕМЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Изложены методы расчета и оптимального проектирования оболочек из композиционных материалов при наличии и отсутствии интенсификаторов теплообмена. Рассмотрены некоторые перспективные направления интенсификации теплообмена, некоторые вопросы эффективности оболочек из композиционного материала с интенсификаторами теплообмена. Представлены распределения температур по сечению контактной поверхности движущихся оболочек из композиционных материалов.

Тепловые процессы, температура, композитные материалы.

Композиционные материалы, представляющие собой гетерогенные структуры, образованные сочетанием армирующих элементов и изотропного связующего, находят в настоящее время широкое применение в различных областях техники. Армирующие элементы определяют высокую прочность и жесткость материала, а связующие обеспечивают его монолитность. Это обстоятельство, а также коррозионная стойкость и другие свойства определяют непрерывно расширяющееся внедрение композиционных материалов в автомобилестроении и других отраслях техники. Эффективность применения композиционных материалов в оболочках определяется степенью совершенства специфических методов расчета, проектирования и изготовления изделий. Характерной особенностью рассматриваемых материалов является то, что они, как правило, образуются одновременно с изготовлением конструкции. При этом их механические характеристики, обуславливаемые схемой расположения армирующих элементов, могут изменяться в широких пределах, что позволяет получать конструкции с направленной анизотропией механических свойств, соответствующих спектру действующих нагрузок. Эффективность методов проектирования оболочек из композиционных материалов зависит от степени соответствия формы, назначения и условий эксплуатации изделия возможностям композиционных материалов, а также технологическим возможностям реализации оптимального проекта. В статье рассмотрены методы проектирования и расчета оболочек из композиционного материала без интенсификаторов и с интенсификаторами теплообмена.

При движении анизотропной оболочки из композиционного материала происходит её разогрев вследствие процессов внутреннего трения, что резко сокращает срок её службы. На тепловые процессы в оболочке будут оказывать влияние конструктивные и эксплуатационные параметры: вязко-упругие и теплофизические свойства изотропного связующего (эластомера), армирующие элементов, толщина контактного слоя, скорость движения, вид и состояние опорной поверхности. Интенсивность тепловых процессов оболочки можно понизить, варьируя ее конст-

руктивные и эксплуатационные характеристики, но для этого нужно знать зависимость температуры от перечисленных факторов, которая может быть получена в результате решения для нее уравнения теплопроводности.

Очевидно, что наиболее теплонапряженной областью движущейся оболочки из композиционного материала является зона контакта с опорной поверхностью.

В целях улучшения эксплуатационных характеристик контактная поверхность оболочки вращения оснащается специальными металлическими конструктивными элементами – шипами, – которые оказывают существенное влияние на её тепловой режим, и, как показывают экспериментальные исследования, являются интенсификаторами теплообмена. Они представляют собой металлические стержни, изготовленные из конструкционной стали. Оболочка может содержать от нескольких десятков до 200 интенсификаторов в зависимости от её размеров и условий эксплуатации.

Распределение значений коэффициента теплоотдачи α по поверхности оболочки в зоне контакта с опорной поверхностью имеет сложный характер, причем на среднюю величину α влияет её скорость движения и частота вращения, а также наличие или отсутствие интенсификаторов теплообмена. Величина локальных коэффициентов теплоотдачи изменяется по ширине поперечного сечения оболочки. Следует отметить, что если локальные коэффициенты теплоотдачи весьма чувствительны к внешним воздействиям, то средние значения коэффициента α по поверхности оболочки изменяются меньше.

Процесс теплообмена в зоне контакта оболочки из композиционного материала с опорной поверхностью описывается критериальной зависимостью вида

$$Nu = C \cdot Re^n,$$

где $Nu = \frac{\alpha_{cp} \cdot R}{\lambda}$ – критерий Нуссельта,

$Re = \frac{V \cdot R}{\nu}$ – критерий Рейнольдса, C и n – посто-

янные, R – радиус оболочки по центру контактной поверхности, α_{cp} – средняя величина коэффициента теплоотдачи по ширине контактной поверхности оболочки вращения, λ – коэффициент теплопроводности среды, V – скорость движения оболочки вращения, ν – коэффициент кинематической вязкости.

При средней величине коэффициента α_{cp} по ширине контактной поверхности оболочки значения постоянных C и n определяем по графикам.

Так как расчеты по оценке работоспособности оболочки ведутся по максимальным температурам, то определение теплового режима оболочки для области контакта с опорной поверхностью в зависимости от эксплуатационных и конструктивных параметров является достаточным условием оценки теплонапряженности её работы.

При тепловом расчёте можем пренебречь кривизной поверхности, и центральное сечение контактной поверхности оболочки рассматривать как однородную пластину с внутренними источниками теплоты, интенсивность которых есть функция координаты x . Уравнение теплопроводности при принятых допущениях записывается в виде

$$\frac{d^2T}{dx^2} = -\frac{q_v(x)}{\lambda}, \quad (1)$$

где T – температура, q_v – мощность источника теплообразования, x – координата.

Уравнение (1) показывает, что тепловой режим оболочки из композиционного материала определяет мощность источника теплообразования q_v . Зная распределение температуры по центру контактной поверхности оболочки в зависимости от ее конструктивных и эксплуатационных параметров и вычисляя вторую производную этой температуры по координате x , получим с точностью до постоянного множителя

мощность источника теплообразования $\frac{q_v}{\lambda}$.

При проведении исследований замеры температуры производились с шагом по толщине 2 мм при стационарном режиме. Для экономии времени измерения проводились одновременно двумя термомпарами с различной длиной выступающей части иглы. Каждой термопарой проводилось по 5–7 замеров в соответственных (сходных) точках оболочки. Промежуток времени между остановкой оболочки с последним замером равнялся 50–60 с. После каждого замера для

восстановления прежнего теплового состояния оболочки обкатывались в течение $(1,2-1,8) \cdot 10^3$ с.

Съем сигналов от датчиков движущейся оболочки из композиционного материала осуществлялся с помощью десятиканального токосъемника с контактными кольцами диаметром 4 мм. Измерения температуры проводились в различных зонах оболочки вращения при изменениях скорости движения, внешней нагрузки и внутреннего давления.

Замеры температуры проводились как по центру, так и по углу контактной поверхности, а также в области боковой поверхности.

При проведении эксперимента были выбраны четыре оболочки из композиционного материала, имеющие различные эксплуатационные характеристики: оболочка 1 (O1), 2 (O2), 3 (O3) и 4 (O4) (табл.).

Исследование теплового состояния оболочек позволило получить общую картину распределения тепловых потоков по радиальному сечению: тепловая энергия, генерируемая в объеме оболочки вращения, отдается в окружающую среду на внешней поверхности и на прогрев воздуха внутри оболочки.

Изменение скорости движения оболочки из композиционного материала вызывает изменение частоты циклов деформирования и условий теплообмена, а как следствие и количества генерируемого тепла и температуры. На рисунке 1 показана зависимость максимальных температур от скорости.

Согласно экспериментальным данным получено распределение величины мощности источника теплообразования q_v по высоте оболочки для центра контактной поверхности. Характер изменения теплообразования в зависимости от скорости движения оболочки O1 без интенсификаторов теплообмена и с их

применением представлен на рисунке 2. Здесь $\xi = \frac{x}{h}$ – относительная координата. Данные графиков показывают, что рост скорости движения оболочки V приводит к увеличению мощности теплообразования вследствие роста частоты деформаций, причем характер распределения $q_v(\xi)$ остается практически неизменным. Из представленных зависимостей видно, что теплообразование максимально в центральной зоне (металлической основе) и минимально на контактной поверхности. Наличие интенсификаторов приводит к значительному увеличению теплообмена.

Таблица

Основные характеристики исследуемых оболочек вращения

№ п/п	Характеристика оболочки вращения	O1	O2	O3	O4
1	Наружный диаметр, мм	1035	1150	940	767
2	Максимальная ширина поперечного сечения, мм	234	280	192	160
3	Контактная поверхность: а) тип каучука б) толщина, мм	100 СК 28	100 СК 30	100 СК 27	100 СК 19
4	Количество слоев армирующих элементов	8	10	6	6
5	Максимальная радиальная нагрузка G , Н	18600	27300	10000	6550
6	Внутреннее давление P , МПа	0,53	0,56	0,33	0,27

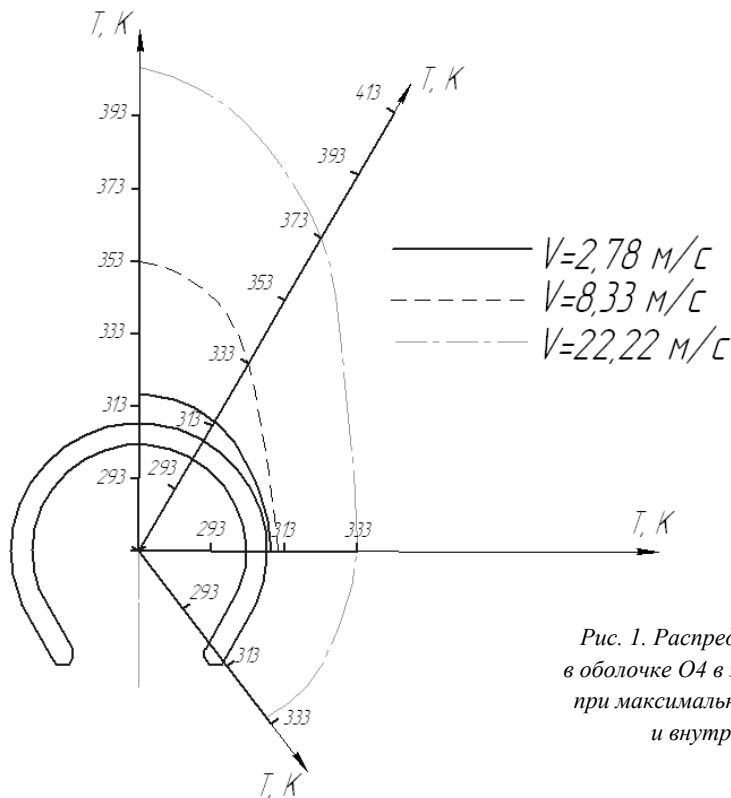


Рис. 1. Распределение максимальных температур в оболочке O4 в зависимости от скорости движения при максимальной радиальной нагрузке $G=15500 \text{ Н}$ и внутреннем давлении $P=0,45 \text{ МПа}$

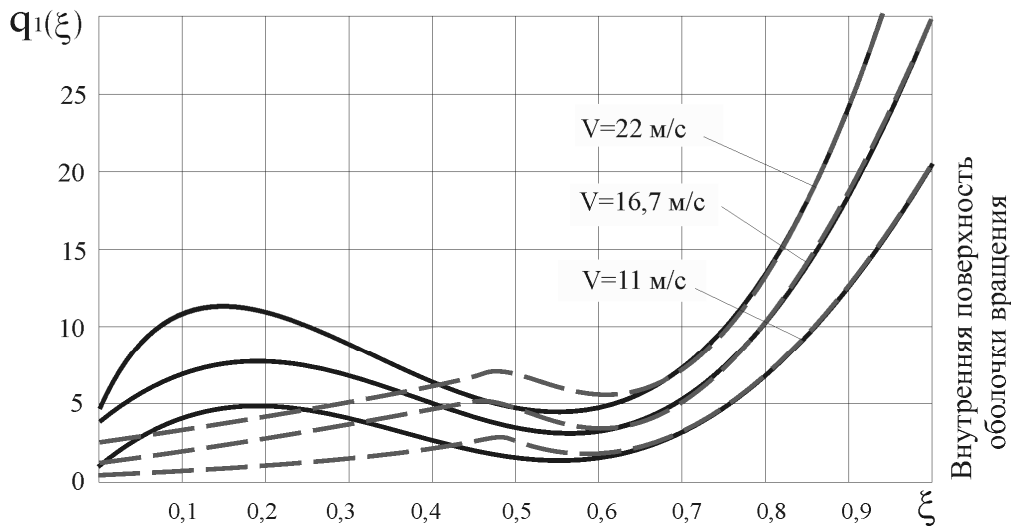


Рис. 2. Распределение безразмерной плотности источников теплоты по сечению контактной поверхности движущейся оболочки вращения O1:
 — без интенсификаторов теплообмена,
 - - - с интенсификаторами теплообмена

Такое распределение плотности источников теплообразования по сечению контактной поверхности оболочки может быть объяснено следующими причинами. Деформирование происходит за счет удлинения-сжатия отдельных ее элементов. Эти деформации в течение одного цикла меняются от нуля до некоторой амплитудной величины, и поэтому работа деформации изменяется от нуля до максимального значения. Элементарные объемы изотропного связующего (эластомера), находящиеся между слоями и нитями армирующих элементов, подвергаются преимущественно деформациям сдвига вследствие нерастяжимости нитей. За время одного цикла сдвиговые дефор-

мации в направлении движения меняют знак при входе и выходе из контакта, поэтому полная работа деформации и теплообразование в области армирующих элементов больше, чем в контактной зоне.

Повышение нагрузки и уменьшение давления внутри оболочки вызывает увеличение амплитуды деформаций, что приводит к росту теплообразования q .

Введём безразмерные параметры:

давление $\bar{P} = \frac{P}{P_0}$; нагрузка $\bar{G} = \frac{G}{G_0}$; скорость

$\bar{V} = \frac{V}{V_0}$; радиус $\bar{R} = \frac{R_0}{R}$; координата $\xi = \frac{x}{h}$,

где P_0 – давление внутри оболочки; P – текущее давление; G_0 – эксплуатационная нагрузка; G – текущая нагрузка; V_0 – средняя скорость движения оболочки, $V_0 = 16,7$ м/с; V – текущая скорость движения оболочки; R_0 – эталонный радиус, $R_0 = 0,5$ м; R – текущий (динамический) радиус; h – высота оболочки по центру контактной поверхности. После обработки экспериментальных данных в безразмерных комплексах получена формула для расчета мощности источника теплообразования по центру контактной поверхности:

$$\bar{q}(\xi) = \frac{\bar{V}}{R} \left[C_0 + C_1 \xi + C_2 \xi^2 + \left(\frac{\bar{G}}{P} \right)^n C_3 \xi^3 \right], \quad (2)$$

где $\bar{q}(\xi) = \frac{q_v h^2}{\lambda(T_g - T_0)}$; C_0, C_1, C_2, C_3 – эмпирические коэффициенты, равные $C_0=3,4$; $C_1=50$; $C_2=-172,5$; $C_3=149,6$ без интенсификаторов теплообмена и $C_0=2,9$; $C_1=42$; $C_2=-194,5$; $C_3=124,2$ с интенсификаторами теплообмена; n – коэффициент, зависящий от конструкции оболочки и механических характеристик изотропного связующего, $n=0,12 \div 0,20$.

Запишем уравнение (1) в безразмерных параметрах:

$$\frac{d^2 \Theta}{d\xi^2} = \bar{q}(\xi), \quad (3)$$

где Θ – безразмерная температура, равная:

$$\Theta(\xi) = \frac{T - T_0}{T_g - T_0}, \quad (4)$$

где T_0 – температура окружающего воздуха; T_g – температура воздуха внутри оболочки вращения.

Общий интеграл уравнения (3) имеет вид

$$\Theta(\xi) = - \int \int \bar{q}(\xi) d\xi d\xi + K_1 \xi + K_2. \quad (5)$$

Постоянные K_1 и K_2 находим из граничных условий:

$$Bi_1 \Theta(0) = - \left(\frac{d\Theta}{d\xi} \right)_{\xi=0} = 0; \quad (6)$$

$$Bi_2 \Theta(1) = - \left(\frac{d\Theta}{d\xi} \right)_{\xi=1}. \quad (7)$$

Подставляя в граничные условия (6)–(7) выражения для Θ , получаем систему уравнений для вычисления постоянных K_1 и K_2 :

$$Bi_1 K_2 = K_1; \quad (8)$$

$$Bi_2 \left[- \int_0^1 \int_0^\xi \bar{q}(\xi) d\xi d\xi - Bi_1 K_1 + K_2 \right] = -K_2 Bi_1 - \int_0^1 \bar{q}(\xi) d\xi \quad (9)$$

Из уравнений (8)–(9) имеем:

$$K_1 = - \frac{Bi_1 (Bi_2 J_1 + J_2)}{Bi_2 - Bi_1 - Bi_1 Bi_2}, \quad (10)$$

где $Bi = \frac{\alpha \cdot R_1}{\lambda}$ – критерий Био,

$$K_2 = - \frac{Bi_2 J_1 + J_2}{Bi_2 - Bi_1 - Bi_1 Bi_2}, \quad (11)$$

где J_1 и J_2 равны:

$$J_1 = \int_0^1 \int_0^\xi q(\xi_1) d\xi_1 d\xi, \quad J_2 = \int_0^1 \bar{q}(\xi) d\xi$$

или:

без интенсификаторов теплообмена

$$J_{11} = \frac{\bar{V}}{R} \left[7,48 \left(\frac{\bar{G}}{P} \right)^n - 4,342 \right],$$

$$J_{21} = \frac{\bar{V}}{R} \left[12,466 \left(\frac{\bar{G}}{P} \right)^n - 0,35 \right];$$

с интенсификаторами теплообмена

$$J_{12} = \frac{\bar{V}}{R} \left[6,19 \left(\frac{\bar{G}}{P} \right)^n - 5,28 \right],$$

$$J_{22} = \frac{\bar{V}}{R} \left[11,145 \left(\frac{\bar{G}}{P} \right)^n - 0,42 \right].$$

Таким образом, с учетом граничных условий выражение для безразмерных температур оболочки Θ_1 без интенсификаторов теплообмена и Θ_2 с интенсификаторами записывается в виде:

$$\Theta_1 = \frac{Bi_2 J_1 + J_2}{Bi_2 - Bi_1 - Bi_1 Bi_2} (1 - Bi_1 \xi) + \frac{\bar{V}}{R} \left[1,7 \xi^2 + 8,33 \xi^2 - 14,375 \xi^4 + 7,48 \left(\frac{\bar{G}}{P} \right)^n \xi^5 \right] \quad (12)$$

$$\Theta_2 = \frac{Bi_2 J_1 + J_2}{Bi_2 - Bi_1 - Bi_1 Bi_2} (1 - Bi_1 \xi) + \frac{\bar{V}}{R} \left[1,3 \xi^2 + 7,21 \xi^2 - 17,52 \xi^4 + 6,3 \left(\frac{\bar{G}}{P} \right)^n \xi^5 \right] \quad (13)$$

Расчет температурного поля оболочек из композиционных материалов по зависимостям (12) и (13) с учетом (2) позволяет получить распределение температуры по высоте оболочки в области контактной поверхности в зависимости от её конструктивных элементов и эксплуатационных параметров, таких как скорость движения и нормальная нагрузка G , а также наличия интенсификаторов теплообмена.

Сравнение экспериментальных и расчетных температур для оболочек без наличия и с наличием интенсификаторов теплообмена представлено на рисунках 3–5. Из графиков видно, что расчетные кривые с точностью порядка 10%, описывают характер распределения температуры по центру контактной поверхности оболочек $O1, O2, O3$ при изменении внутреннего давления в оболочке, максимальной радиальной нагрузки G и скорости движения оболочки V .

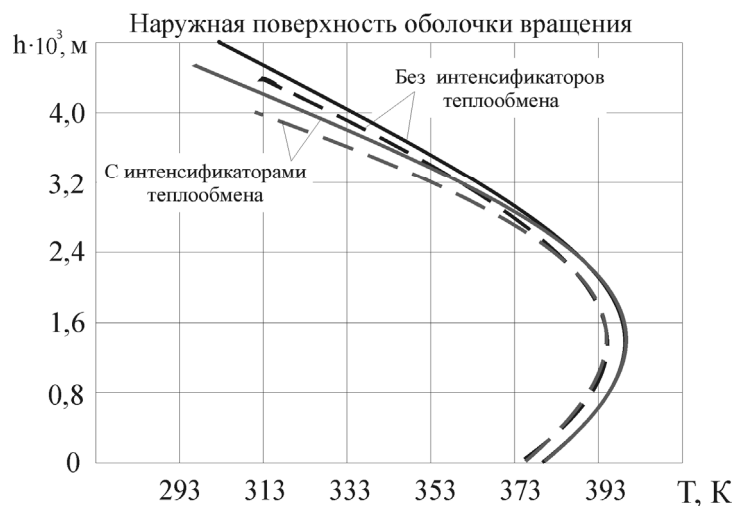


Рис. 3. Сравнение данных по температуре движущейся оболочки вращения O1 при $G=18000$ Н, $P=0,5$ МПа, $V=16,7$ м/с:
 — расчетные,
 - - - экспериментальные

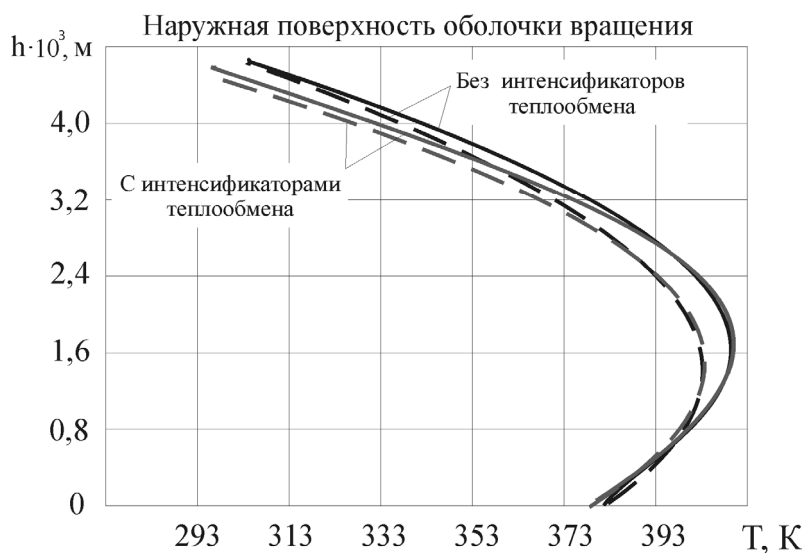


Рис. 4. Сравнение данных по температуре движущейся оболочки вращения O2 при $G=27000$ Н, $P=0,5$ МПа, $V=16,7$ м/с:
 — расчетные,
 - - - экспериментальные

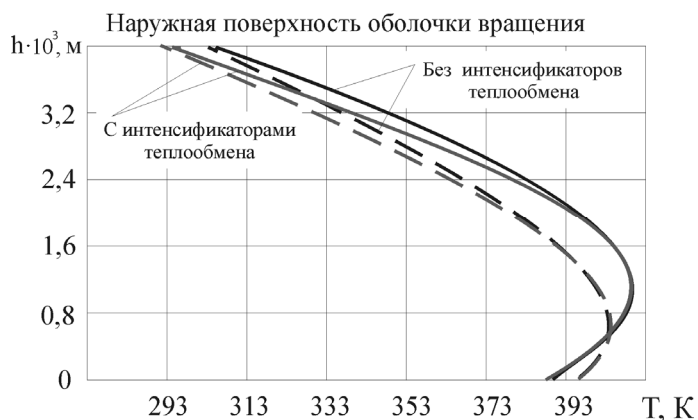


Рис. 5. Сравнение данных по температуре движущейся оболочки вращения O3 при $G=15000$ Н, $P=0,45$ МПа, $V=16,7$ м/с:
 — расчетные,
 - - - экспериментальные

Таким образом, проведенные исследования позволили определить зависимости распределения безразмерной плотности источников теплообразования и температурных полей оболочек из композиционных материалов от их конструктивных и эксплуатационных параметров. Установлено направление тепловых потоков в радиальном сечении оболочек вращения. При одинаковой толщине контактной поверхности и размерах армирующих элементов температура оболочки вращения зависит от наличия или отсутствия интенсификаторов теплообмена [1–4].

Литература

1. Осипов, Ю. Р. Энергосберегающая технология крепления антикоррозионных эластомерных покрытий к металлу / Ю. Р. Осипов, С. Ю. Осипов, С. А. Шлыков // Энергосбережение и водоподготовка. – 2007. – №6 – С. 40–42.

2. Осипов, Ю. Р. Расчет теплообразования и температуры в деформируемых оболочках вращения из композиционных материалов / Ю. Р. Осипов, С. А. Шлыков, С. Ю. Осипов // Конструкции из композиционных материалов. – 2007. – № 4. – С. 7–14.

3. Осипов, С. Ю. Контактный теплообмен при взаимодействии оболочки вращения с поверхностью / С. Ю. Осипов, С. А. Шлыков, Ю. Р. Осипов // Вестник Череповецкого государственного университета. – 2010. – № 3 (26). – С. 112–115.

4. Осипов, Ю. Р. Моделирование процесса теплообразования в оболочке вращения / Ю. Р. Осипов, С. А. Шлыков // Автоматизация машиностроительного производства, технология и надежность машин, приборов и оборудования : материалы второй международной научно-технической конференции (Вологда, 13-15 ноября 2006 г.) : [в 2 томах] / [ответственный редактор Ю. Р. Осипов]. – Вологда, 2006 . – С. 145–149.

N.E. Dymov, K.S. Lukin, S.Yu. Osipov

HEAT DISTRIBUTION IN COVERS PRODUCED FROM DEFORMED COMPOSITE MATERIALS

The calculation methods and optimum design of covers from composite materials when an enhancer is present or absent are presented. Some perspective directions of the heat exchange intensification, some issues of effectiveness of covers from composite materials with enhancers have been analyzed. Heat distribution in the section of the contact surface of the moving covers from composite materials have been shown.

Heat processes, temperature, composite materials.



ИССЛЕДОВАНИЕ ВЫНУЖДЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ МЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ. ЧАСТЬ 1

Цель исследования состоит в разработке существенно компактных методов расчета механических систем для установившихся режимов. При решении использованы методы, применяемые для расчета электрических цепей. Представление гармонических величин в виде вращающихся векторов в комплексной плоскости и операции с их комплексными амплитудами позволяют многократно облегчить расчет сколь угодно сложных механических систем при гармонических воздействиях в установившемся режиме. Построены векторные диаграммы амплитуд сил, скоростей и их составляющих в комплексной плоскости для нулевого момента времени.

Реактанс, резистанс, импеданс, сассептанс, кондактанс, адмитанс.

Классическое решение задач, связанных с расчетом скоростей и реакций элементов сложных механических систем при гармоническом силовом воздействии [1], заключается в составлении и интегрировании систем дифференциальных уравнений [2] и является достаточно громоздким и трудоемким [3]. В большинстве случаев интерес ограничивается установившимся режимом.

Цель исследования состоит в разработке существенно компактных методов расчета систем для установившихся режимов.

При решении использованы методы, применяемые для расчета электрических цепей [4].

Параллельное соединение потребителей механической мощности. Точки приложения сил к потребителям механической мощности [5] (рис. 1) обладают единой скоростью

$$v = V \sin \omega t. \quad (1)$$

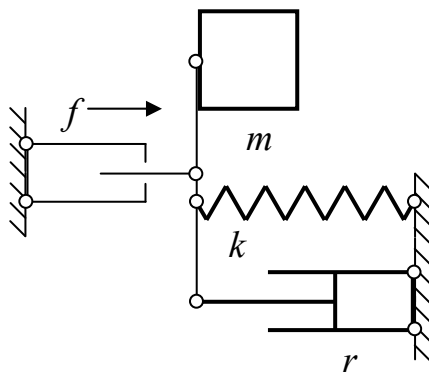


Рис. 1. Параллельное соединение

Силы, приложенные к инертному телу [6], упругому элементу [7] и демпферу, соответственно равны

$$f_m = m \frac{dv}{dt} = m\omega V \cos \omega t, \quad (2)$$

$$f_k = -kx = k \int v dt = -\frac{k}{\omega} V \cos \omega t, \quad (3)$$

$$f_r = rv = rV \sin \omega t. \quad (4)$$

Суммарная сила, развиваемая источником силового гармонического воздействия, равна

$$\begin{aligned} f &= f_m + f_k + f_r = V \left[\left(m\omega - \frac{k}{\omega} \right) \cos \omega t + r \sin \omega t \right] = \\ &= V \sqrt{(m\omega - k/\omega)^2 + r^2} \left[\frac{m\omega - k/\omega}{\sqrt{(m\omega - k/\omega)^2 + r^2}} \cos \omega t + \right. \\ &\quad \left. + \frac{r}{\sqrt{(m\omega - k/\omega)^2 + r^2}} \sin \omega t \right] \end{aligned}$$

Пусть

$$\varphi = \operatorname{arctg} \frac{m\omega - k/\omega}{r}. \quad (5)$$

Тогда

$$\begin{aligned} f &= V \sqrt{(m\omega - k/\omega)^2 + r^2} (\sin \varphi \cos \omega t + \cos \varphi \sin \omega t) = \\ &= V \sqrt{(m\omega - k/\omega)^2 + r^2} \sin(\omega t + \varphi) = F \sin(\omega t + \varphi). \end{aligned} \quad (6)$$

Это известная формула вынужденных колебаний, для получения которой не потребовалось составлять и решать дифференциальное уравнение. Амплитуда суммарной силы равна

$$F = Vz, \quad (7)$$

$$z = \sqrt{(m\omega - k/\omega)^2 + r^2} \quad (\text{кг} \cdot \text{с}^{-1}). \quad (8)$$

В 1873 г. Максвелл ввел первую (из двух) систему электро-механических аналогий [8]:

- | | |
|---------------------------------------|---------------------------------------|
| – (скорость) | $V \Rightarrow I$ (ток), |
| – (сила) | $F \Rightarrow U$ (напряжение), |
| – (масса) | $m \Rightarrow L$ (индуктивность), |
| – (коэффициент упругости) | $k \Rightarrow 1/C$ (C – емкость), |
| – (коэффициент вязкого сопротивления) | $r \Rightarrow R$ (сопротивление). |

В 1919 г. Вебстер ввел в механику заимствованное из электротехники понятие о механических реактансах [9], являющихся аналогами электрических реактивных сопротивлений [10]:

- (инертный реактанс) $\omega m \Rightarrow \omega L$ (индуктивное сопротивление),
- (упругий реактанс) $k/\omega \Rightarrow 1/(\omega C)$ (емкостное сопротивление).

В соответствии с представленной системой аналогий выражение (7) дуально закону Ома для участка электрической цепи

$$U = IZ,$$

где $Z = \sqrt{[\omega L - 1/(\omega C)]^2 + R^2}$ – полное сопротивление. Следовательно, выражение (8) – это *механический импеданс* (impedance) как в силу дуального соответствия, так и потому, что в его состав входят инертный и упругий реактансы. *Механический реактанс* (reactance) равен

$$x = m\omega - \frac{k}{\omega}.$$

При $x=0$ получается известная формула $\omega = \sqrt{k/m}$. Имеет место *резонанс сил*. Если при этом $r=0$, то и $z=0$. Физический смысл этого состоит в том, что система не оказывает сопротивления внешнему силовому гармоническому воздействию. Для единообразия терминологии величина r в дальнейшем называется *механическим резистансом* (resistance).

Комплексное представление при параллельном соединении. По аналогии с электротехникой гармоническую величину можно представить в виде

$$a = A \sin(\omega t + \varphi) = \text{Im} [Ae^{i(\omega t + \varphi)}],$$

где $Ae^{i(\omega t + \varphi)}$ – вращающийся в комплексной плоскости вектор.

Векторы в комплексной плоскости принято изображать для нулевого момента времени. При этом величина $Ae^{i(\omega t + \varphi)} = Ae^{i\varphi} = \dot{A}$ называется *комплексной амплитудой*.

В соответствии с этим выражение (1) можно представить в виде

$$v = V \sin \omega t = \text{Im}(Ve^{i\omega t}), \quad \dot{V} = Ve^{i0}.$$

Формула (2) показывает, что f_m опережает по фазе v на $\pi/2$. Следовательно,

$$\begin{aligned} \dot{F}_m &= m\omega \dot{V} e^{i\frac{\pi}{2}} = \underline{x}_m \dot{V}, \\ \underline{x}_m &= \omega m e^{i\frac{\pi}{2}} = i\omega m \end{aligned} \quad (9)$$

– инертный реактанс в комплексном представлении.

Над комплексными величинами, не являющимися изображениями синусоиды, точка не ставится, такие величины подчеркиваются.

Комплексная амплитуда инертной силы равна

$$\dot{F}_m = \omega m e^{i\frac{\pi}{2}} V e^{i0} = \omega m V e^{i\frac{\pi}{2}}.$$

Аналогично, с учетом (3) и (4), $\dot{F}_k = -\frac{k}{\omega} \dot{V} e^{i\frac{\pi}{2}} = \underline{x}_k \dot{V}$.

$$\underline{x}_k = -\frac{k}{\omega} e^{i\frac{\pi}{2}} = \frac{k}{\omega} e^{-i\frac{\pi}{2}} = -i \frac{k}{\omega} \quad (10)$$

– упругий реактанс.

$$\dot{F}_r = r \dot{V} = \underline{r} \dot{V}.$$

$$\underline{r} = r - \text{резистанс}.$$

Комплексные амплитуды упругой и резистивной сил соответственно равны

$$\dot{F}_k = \frac{k}{\omega} e^{-i\frac{\pi}{2}} V e^{i0} = \frac{k}{\omega} V e^{-i\frac{\pi}{2}}, \quad \dot{F}_r = r \dot{V} = r e^{i0} V e^{i0}.$$

Механические реактанс и импеданс соответственно равны

$$\begin{aligned} \underline{x} &= \underline{x}_m + \underline{x}_k = \left(m\omega - \frac{k}{\omega} \right) e^{i\frac{\pi}{2}}, \\ \underline{z} &= r + \underline{x} = r + \left(m\omega - \frac{k}{\omega} \right) e^{i\frac{\pi}{2}}. \end{aligned}$$

Модуль механического импеданса совпадает с (8)

$$Z = \sqrt{r^2 + \left(m\omega - \frac{k}{\omega} \right)^2}.$$

Его фаза равна (5). Таким образом, $\underline{z} = Ze^{i\varphi}$.

Суммарная сила, развиваемая источником силового гармонического воздействия, равна

$$\dot{F} = \underline{z} \dot{V} = Z V e^{i\varphi}, \quad (11)$$

что соответствует (6).

Пример 1. $\dot{F} = 100e^{i0}$ (Н), $\omega = 2$ рад/с, $m = 10$ кг, $k = 20$ (кг·с⁻²), $r = 7$ (кг·с⁻¹). Найти скорость и составляющие силы в установившемся режиме.

$$\underline{x}_m = \omega m e^{i90^\circ} = 20e^{i90^\circ} \text{ (кг·с}^{-1}\text{)},$$

$$\underline{x}_k = \frac{k}{\omega} e^{-i90^\circ} = 10e^{-i90^\circ} \text{ (кг·с}^{-1}\text{)}.$$

$$Z = \sqrt{r^2 + (\underline{x}_m - \underline{x}_k)^2} = \sqrt{7^2 + (20 - 10)^2} = 12,207 \text{ (кг·с}^{-1}\text{)}.$$

$$\varphi = \arctg \frac{\underline{x}_m - \underline{x}_k}{r} = \arctg \frac{20 - 10}{7} = 55^\circ,$$

$$\underline{z} = Ze^{i\varphi} = 12,207e^{i55^\circ} \text{ (кг·с}^{-1}\text{)}.$$

$$\dot{V} = \frac{\dot{F}}{\underline{z}} = \frac{100e^{i0}}{12,207e^{i55^\circ}} \approx 8,192e^{-i55^\circ} \text{ (м·с}^{-1}\text{)}, \quad (12)$$

$$\dot{F}_m = \underline{x}_m \dot{V} = 20e^{i90^\circ} \cdot 8,192e^{-i55^\circ} = 163,846e^{i35^\circ} \text{ (Н)},$$

$$\dot{F}_k = \underline{x}_k \dot{V} = 10e^{-i90^\circ} \cdot 8,192e^{-i55^\circ} = 81,923e^{-i145^\circ} \text{ (Н)},$$

$$\dot{F}_r = r \dot{V} = 7e^{i0} \cdot 8,192e^{-i55^\circ} = 57,344e^{-i55^\circ} \text{ (Н)}.$$

Разумеется,

$$\dot{F}_m + \dot{F}_k + \dot{F}_r = 163,846e^{i35^\circ} + 81,923e^{-i145^\circ} +$$

$$+ 57,344e^{-i55^\circ} = 100e^{i0} \text{ (Н)} = \dot{F}$$

Классический расчет по сравнению с примером 1 несоизмеримо сложнее и объемнее.

Векторная диаграмма (не является необходимой частью расчета) для величин из примера 1 представлена на рисунке 2.

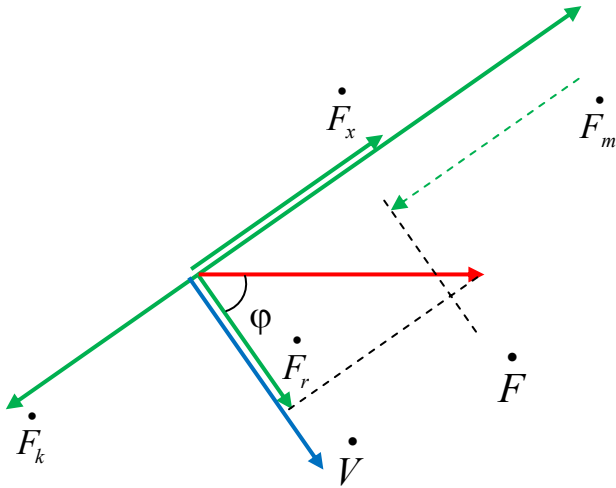


Рис. 2. Векторная диаграмма при параллельном соединении

Резонанс сил. В дополнение к вышесказанному о резонансе сил можно ограничиться численным примером.

Пример 2. Пусть $k = 40$ ($\text{кг} \cdot \text{с}^{-2}$). Остальные данные – из примера 1. Потребители механической мощности соединены параллельно.

$$\underline{x}_k = 20e^{-i90^\circ} (\text{кг} \cdot \text{с}^{-1}), \quad \underline{z} = r = 7e^{i0^\circ} (\text{кг} \cdot \text{с}^{-1}),$$

$$\dot{V} = \frac{\dot{F}}{\underline{z}} = \frac{100e^{i0}}{7e^{i0^\circ}} \approx 14,286e^{i0^\circ} (\text{м} \cdot \text{с}^{-1}),$$

$$\dot{F}_m = \underline{x}_m \dot{V} = 20e^{i90^\circ} \cdot 14,286e^{i0^\circ} = 285,72e^{i90^\circ} (\text{Н}),$$

$$\dot{F}_k = \underline{x}_k \dot{V} = 20e^{-i90^\circ} \cdot 14,286e^{i0^\circ} = 285,72e^{-i90^\circ} (\text{Н}),$$

$$\dot{F}_r = r \dot{V} = 7e^{i0} \cdot 14,286e^{i0^\circ} = 100e^{i0^\circ} (\text{Н}).$$

Разумеется,

$$\dot{F}_m + \dot{F}_k + \dot{F}_r = 285,72e^{i90^\circ} + 285,72e^{-i90^\circ} + 100e^{i0^\circ} = 100e^{i0^\circ} (\text{Н}) = \dot{F} = \dot{F}_r.$$

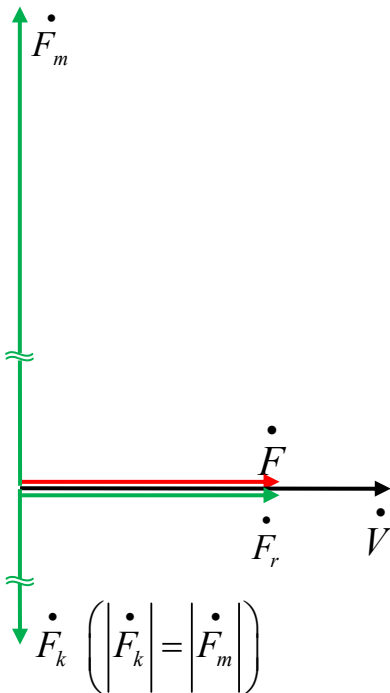


Рис. 3. Векторная диаграмма резонанса сил

Векторная диаграмма для величин из примера 2 представлена на рисунке 3. Реактивные силы \dot{F}_m и \dot{F}_k (термин заимствован из электротехники) существенно выше, чем в примере 1.

Последовательное соединение потребителей механической мощности. Ко всем потребителям механической мощности (рис. 4) приложена единая сила

$$f = F \cos \omega t.$$

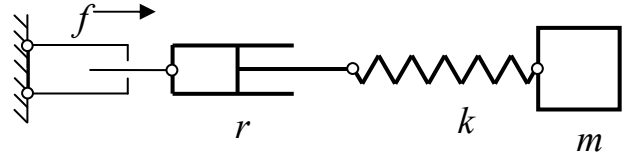


Рис. 4. Последовательное соединение

Скорости инертного тела и изменения размеров упругого элемента и демпфера соответственно равны

$$v_m = \frac{1}{m} \int f dt = \frac{F}{\omega m} \sin \omega t, \quad (13)$$

$$v_k = -\frac{1}{k} \frac{dx}{dt} = \frac{1}{k} \frac{df}{dt} = -\frac{\omega F}{k} \sin \omega t, \quad (14)$$

$$v_r = \frac{f}{r} = \frac{F}{r} \cos \omega t. \quad (15)$$

Скорость штока источника силового гармонического воздействия равна

$$v = v_m + v_k + v_r = F \left[\left(\frac{1}{\omega m} - \frac{\omega}{k} \right) \sin \omega t + \frac{1}{r} \cos \omega t \right] = F \sqrt{[1/(\omega m) - \omega/k]^2 + (1/r)^2} \left[\frac{1/(\omega m) - \omega/k}{\sqrt{[1/(\omega m) - \omega/k]^2 + (1/r)^2}} \sin \omega t + \frac{1/r}{\sqrt{[1/(\omega m) - \omega/k]^2 + (1/r)^2}} \cos \omega t \right].$$

$$\varphi = \arctg \frac{1/(\omega m) - \omega/k}{1/r}.$$

$$v = F \sqrt{[1/(\omega m) - \omega/k]^2 + (1/r)^2} (\sin \varphi \sin \omega t + \cos \varphi \cos \omega t) =$$

$$= F \sqrt{[1/(\omega m) - \omega/k]^2 + (1/r)^2} \cos(\omega t - \varphi) = V \cos(\omega t - \varphi).$$

Это формула вынужденных колебаний при последовательном соединении потребителей механической мощности, для получения которой не потребовалось составлять и решать дифференциальное уравнение.

Амплитуда суммарной скорости равна

$$V = Fy, \quad y = \sqrt{[1/(\omega m) - \omega/k]^2 + (1/r)^2}. \quad (16)$$

При $1/(\omega m) - \omega/k = 0$ также получается известная формула $\omega = \sqrt{k/m}$. Имеет место *резонанс скоростей*, при котором точка приложения силы к системе упругий элемент – инертное тело неподвижна, при этом сами по себе инертное тело и упругий элемент

совершают колебания. Если дополнительно $1/r = 0$, то и $y = 0$. Физический смысл этого состоит в том, что система оказывает бесконечно большое сопротивление внешнему силовому гармоническому воздействию, вследствие чего шток источника силового гармонического воздействия неподвижен, хотя инертное тело и упругий элемент совершают колебания.

Комплексное представление при последовательном соединении. Порядок рассуждений аналогичен представленному выше

$$f = F \cos \omega t = \operatorname{Re}(F e^{i\omega t}), \quad \dot{F} = F e^{i\frac{\pi}{2}}.$$

Формула (13) показывает, что v_m отстает по фазе f на $\pi/2$. Следовательно,

$$\dot{V}_m = -\frac{1}{\omega m} \dot{F} e^{i\frac{\pi}{2}} = \frac{1}{\omega m} \dot{F} = \underline{b}_m \dot{F}.$$

$$\underline{b}_m = \frac{1}{\omega m} e^{-i\frac{\pi}{2}} = -i \frac{1}{\omega m} = \frac{1}{\omega m} \underline{x}_m$$

– инертный сассептанс (susceptance) в комплексном представлении.

Комплексная амплитуда инертной скорости равна

$$\dot{V}_m = \frac{1}{\omega m} e^{-i\frac{\pi}{2}} F e^{i\frac{\pi}{2}} = \frac{1}{\omega m} F e^{i0}.$$

Аналогично, с учетом (14) и (15),

$$\dot{V}_k = \frac{\omega}{k} \dot{F} e^{i\frac{\pi}{2}} = \frac{1}{k} \dot{F} = \underline{b}_k \dot{F}.$$

$$\underline{b}_k = \frac{\omega}{k} e^{i\frac{\pi}{2}} = i \frac{\omega}{k} = \frac{1}{\underline{x}_k} \text{ – упругий сассептанс.}$$

Комплексные амплитуды упругой и резистивной скоростей соответственно равны

$$\dot{V}_k = \frac{\omega}{k} e^{i\frac{\pi}{2}} F e^{i\frac{\pi}{2}} = \frac{\omega}{k} F e^{i\pi} \cdot \dot{V}_r = \frac{1}{r} \dot{F} = g \dot{F} = g F e^{i\frac{\pi}{2}}.$$

$$\underline{g} = g = \frac{1}{r} \text{ – механический кондактанс (conductance).}$$

Механический сассептанс равен

$$\underline{b} = \underline{b}_k + \underline{b}_m = \left(\frac{\omega}{k} - \frac{1}{\omega m} \right) e^{i\frac{\pi}{2}}.$$

Механический адмиттанс (admittance) равен

$$\underline{y} = g + \underline{b} = g + \left(\frac{\omega}{k} - \frac{1}{\omega m} \right) e^{i\frac{\pi}{2}}.$$

Модуль механического адмиттанса совпадает с (16)

$$Y = \sqrt{g^2 + (b_k - b_m)^2} = \sqrt{\frac{1}{r^2} + \left(\frac{\omega}{k} - \frac{1}{\omega m} \right)^2}.$$

$$\varphi = \arctg \frac{b_k - b_m}{g} = \arctg \frac{\omega/k - 1/(\omega m)}{g} = \arctg \left[(m\omega - k/\omega) \frac{r}{mk} \right]$$

$$\underline{y} = Y e^{i\varphi}.$$

Суммарная скорость равна скорости штока источника силового гармонического воздействия

$$\dot{V} = \underline{y} \dot{F} = Y e^{i\varphi} F e^{i\frac{\pi}{2}} = Y F e^{i(\varphi + \frac{\pi}{2})}. \quad (17)$$

Пример 3. Для данных примера 1 найти все скорости в установившемся режиме.

$$\underline{b}_m = \underline{x}_m^{-1} = 5 \cdot 10^{-2} e^{-i90^\circ} \text{ (кг}^{-1} \cdot \text{с)},$$

$$\underline{b}_k = \underline{x}_k^{-1} = 10 \cdot 10^{-2} e^{i90^\circ} \text{ (кг}^{-1} \cdot \text{с)},$$

$$g = r^{-1} = 14,286 \cdot 10^{-2} \text{ (кг}^{-2} \cdot \text{с)}.$$

$$Y = \sqrt{g^2 + (b_k - b_m)^2} = \sqrt{(14,286 \cdot 10^{-2})^2 + (10 \cdot 10^{-2} - 5 \cdot 10^{-2})^2} = 15,135 \cdot 10^{-2} \text{ (кг}^{-1} \cdot \text{с)}.$$

$$\varphi = \arctg \frac{b_k - b_m}{g} = \arctg \frac{10 \cdot 10^{-2} - 5 \cdot 10^{-2}}{14,286 \cdot 10^{-2}} = 19,29^\circ,$$

$$\underline{y} = Y e^{i\varphi} = 15,135 \cdot 10^{-2} e^{i19,29^\circ} \text{ (кг}^{-1} \cdot \text{с)}.$$

$$\dot{V} = \underline{y} \dot{F} = 15,135 \cdot 10^{-2} e^{i19,29^\circ} \cdot 100 = 15,135 e^{i19,29^\circ} \text{ (м} \cdot \text{с}^{-1}),$$

$$\dot{V}_m = \underline{b}_m \dot{F} = 5 \cdot 10^{-2} e^{-i90^\circ} \cdot 100 = 5 e^{-i90^\circ} \text{ (м} \cdot \text{с}^{-1}),$$

$$\dot{V}_k = \underline{b}_k \dot{F} = 10 \cdot 10^{-2} e^{i90^\circ} \cdot 100 = 10 e^{i90^\circ} \text{ (м} \cdot \text{с}^{-1}),$$

$$\dot{V}_r = g \dot{F} = 14,286 \cdot 10^{-2} \cdot 100 = 14,286 \text{ (м} \cdot \text{с}^{-1}).$$

Разумеется,

$$\dot{V}_m + \dot{V}_k + \dot{V}_r = 5 e^{-i90^\circ} + 10 e^{i90^\circ} + 14,286 = 15,135 e^{i19,29^\circ} \text{ (м} \cdot \text{с}^{-1}) = \dot{V}$$

Классический расчет по сравнению с примером 3 несоизмеримо сложнее и объемнее.

Векторная диаграмма для величин из примера 3 представлена на рисунке 5.

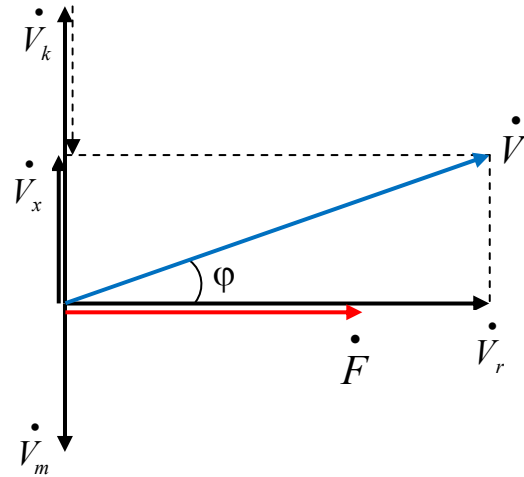


Рис. 5. Векторная диаграмма при последовательном соединении

Резонанс скоростей. В дополнение к вышесказанному о резонансе скоростей можно ограничиться численным примером.

Пример 4. Все данные – из примера 2. Потребители механической мощности соединены последовательно.

$$\underline{b}_k = 5 \cdot 10^{-2} e^{i90^\circ} \text{ (кг}^{-1} \cdot \text{с)},$$

$$Y = g = 14,286 \cdot 10^{-2} \text{ (кг}^{-2} \cdot \text{с)},$$

$$\varphi = 0^\circ,$$

$$\underline{y} = Y e^{i\varphi} = 14,286 \cdot 10^{-2} e^{i0^\circ} \text{ (кг}^{-1} \cdot \text{с)},$$

$$\dot{V} = \underline{y} \dot{F} = 14,286 \cdot 10^{-2} \cdot 100 = 14,286 e^{i0^\circ} \text{ (м} \cdot \text{с}^{-1}),$$

$$\dot{V}_k = \underline{b}_k \dot{F} = 5 \cdot 10^{-2} e^{i90^\circ} \cdot 100 = 5 e^{i90^\circ} \text{ (м} \cdot \text{с}^{-1}).$$

Разумеется,

$$\begin{aligned} \dot{V}_m + \dot{V}_k + \dot{V}_r &= 5e^{-i90^\circ} + 5e^{i90^\circ} + 14,286 = \\ &= 14,286e^{i0^\circ} \text{ (м} \cdot \text{с}^{-1}\text{)} = \dot{V} = \dot{V}_r \end{aligned}$$

Векторная диаграмма для величин из примера 4 представлена на рисунке 6.

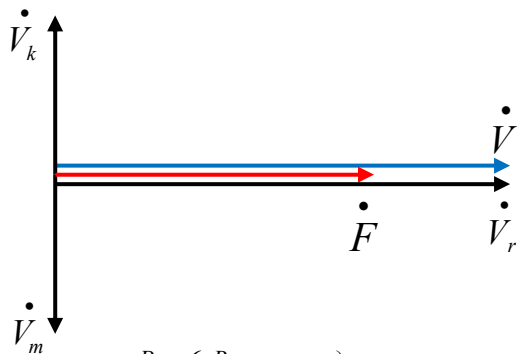


Рис. 6. Векторная диаграмма резонанса скоростей

Применение комплексного представления позволило получить более компактные алгебраические методы расчета сложных механических систем в установившихся режимах по сравнению с классическими методами, основанными на составлении и интегрировании систем дифференциальных уравнений. При этом объем вычислений сокращается в несколько раз. Ключевую роль в предложенном методе играют механические реактансы, резистансы и импедансы для параллельного соединения потребителей механической мощности и сассептансы, кондактансы и адмитансы – для последовательного. Построение векторных диаграмм амплитуд сил, скоростей и их составляющих в комплексной плоскости для нулевого момента времени дает наглядное представление о фазовых соотношениях между этими величинами и их взаимосвязи.

Литература

1. Бабаков, И. М. Теория колебаний / И. М. Бабаков. – 4-е изд., испр. – Москва : Дрофа, 2004. – 591 с.
2. Попов, И. П. Исследование резонансов в технических системах / И. П. Попов // Вестник Вологод-

ского государственного университета. – 2019. – № 2(4). – С. 15–18.

3. Анализ нелинейной динамики процесса много-резцового точения «по следу» / Гуськов А. М., Гуськов М. А., Динь Дык Тунг, Пановко Г. Я. // Машиностроение и инженерное образование. – 2018. – № 2 (55). – С. 9–16.

4. Попов, И. П. Электромеханические или искусственные масса и упругость / И. П. Попов // Вестник Псковского государственного университета. Технические науки. – 2016. – Вып. 4. – С. 89–94.

5. Царенко, С. Н. Крутильные колебания стержневых конструкций с осевой неоднородностью геометрических характеристик / С. Н. Царенко. – DOI: 10.14529/mmph190107 // Вестник Южно-Уральского государственного университета. серия: Математика. Механика. Физика. – 2019. – Том. 11. – № 1. – С. 50–58.

6. Буланчук, П. О. Вибрационная энергия и управление маятниковыми системами / П. О. Буланчук, А. Г. Петров // Прикладная математика и механика. – 2012. – Т. 76, Вып. 4. – С. 550–562.

7. Регулируемое упругое устройство / Попов В. Е., Парышев Д. Н., Моисеев О. Ю. [и др.] // Естественные и технические науки. – 2018. – № 6 (120). – С. 95–99.

8. Попов, И. П. Комбинированные векторы и магнитный заряд / И. П. Попов. – DOI: 10.25791/pfim.06.2018.329 // Прикладная физика и математика. 2018. – № 6. – С. 12–20.

9. Нейтрализация механического инертного реактанта основной гармоники в двигателях внутреннего сгорания / Попов И. П., Попов Д. П., Кубарева С.Ю., Блынских Е. Ю. // Проблемы и перспективы развития автомобильного транспорта : материалы международной научно-практической конференции. – Курган : КГУ, 2013. – С. 82–87.

10. Попов, И. П. Четыре теоремы для синхронных машин с реактивной нагрузкой / И. П. Попов // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Электротехника, информационные технологии, системы управления. – 2018. – № 28. – С. 169–178.

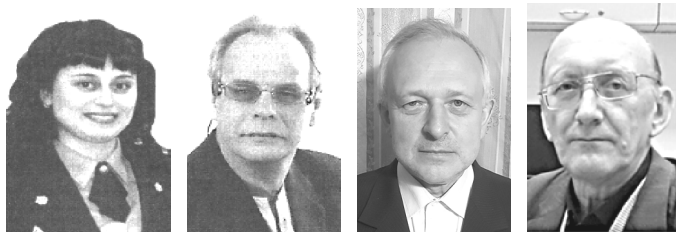
I.P. Popov

Kurgan State University

STUDY OF FORCED MECHANICAL SYSTEMS OSCILLATIONS. PART 1

The purpose of the research is to develop essentially compact methods for calculating of mechanical systems for steady-state modes. The solution includes the methods used to calculate electrical circuits. The representation of harmonic quantities in the form of rotating vectors in the complex plane and the operation with their complex amplitudes make it possible to repeatedly simplify the calculation of arbitrarily complex mechanical systems with harmonic effects in the steady state. Vector diagrams of the amplitudes of forces, velocities and their components in the complex plane for the zero time instant are constructed.

Reactance, Resistance, Impedance, Sasseptance, Conductance, Admittance.



*Д.Ю. Крюкова¹, А.А. Суколицыков²,
А.Н. Швецов², С.А. Яковлев³
Вологодский институт права
и экономики ФСИН России¹,
Вологодский государственный университет²,
Санкт-Петербургский государственный
электротехнический университет «ЛЭТИ»
им. В.И. Ульянова (Ленина)³*

МОДЕЛИ ПЕНИТЕНЦИАРНОЙ СОЦИАЛЬНОЙ РАБОТЫ НА БАЗЕ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ПЕТРИ

В статье представлены модели социальной работы с осужденными на базе нейронной сети Петри. Описан алгоритм построения модели. Разработано математическое описание моделей. Предложена методика прогнозирования на моделях нейронной сети Петри.

Социальная работа с осужденными, нейронная сеть Петри, модель.

Необходимость моделирования процессов социальной работы с осужденными возникает на этапе внедрения автоматизации в деятельность специалистов по социальной работе с осужденными, которые позволяют проверять различные ситуации и события на динамических моделях. Для осуществления моделирования социальной работы предлагается использовать нейронную сеть Петри (НСП) [1].

Применение НСП для моделирования социальных процессов в пенитенциарных учреждениях позволяет определить количественные и качественные параметры социальных процессов и события, которые влияют на них [2]. Анализ разработанных моделей НСП позволяет получить сведения о динамике социальной среды, ее параметрах и возникающих ситуациях.

Для применения нейронной сети Петри как средства моделирования [2] для определенных целей необходимо выполнить ряд подготовительных действий согласно следующему алгоритму:

1. Декомпонировать процесс (программный модуль и т.п.) на субъекты, объекты, вспомогательные, внешние и внутренние элементы.

2. Представить процесс в терминологии сети Петри.

3. Определить последовательность активизации переходов, необходимость применения нейронных позиций в сети, определить алгоритм обучения и функциональные зависимости активизации нейропозиций при необходимости.

4. Задать входные данные (условия), определить количество цветов в сети, задать атрибутивные характеристики меток.

5. Определить условно-событийную взаимосвязь между элементами процесса.

6. Определить необходимость ингибиторных дуг, контрольных условий.

7. Определить емкость предикатов и выделить матрицу инцидентности при необходимости.

8. Произвести непосредственное имитационное моделирование НСП.

9. Оценить результаты в графической и аналитической форме.

10. Определить корректировочные характеристики результатов, провести обучение сети либо повторное имитационное моделирование.

11. Сохранить созданную модель и полученные результаты в базе предыстории моделирования.

Пункты алгоритма 2, 3, 5, 6, 7 могут быть опущены при наличии в базе моделей готовой НСП для решения некоторой социальной проблемы или проверки работы программного модуля.

Алгоритм имитационного моделирования на НСП был автоматизирован и представлен в составе программной оболочки Neural Petri Network, которая является в свою очередь программным агентом моделирования в составе программной системы электронного документооборота (АРМ) [3].

Среди задач социальной работы с осужденными большое значение имеет решение значимых для осужденных проблем и помощь в адаптации к жизни на свободе.

Рассмотрим в качестве примера моделирование процесса решения жилищной проблемы осужденного. Для данного процесса будем использовать ингибиторные дуги и нейронные позиции для анализа принятых решений, а также определим функциональные зависимости при вычислении потенциала нейропозиций. В модели будут задействованы метки двух типов: метка «а» будет соответствовать положительным решениям проблем, метка «b» – отрицательным. На рисунке 1 представлена модель НСП для данного процесса.

Рассмотрим условия активизации для переходов, которые соединены с нейропозициями N1 и N2. Переход T5 после активизации имеет следующие значения: если имеется метка в позиции P6, то после срабатывания T5 метка переходит в N1, иначе метка переходит в позицию P8:

$$K_{P5} \geq 1, K_{P6} \geq 1;$$

$$(M_{P6}(b) > 0) \Rightarrow (true.a(t_s, N_1) = M(\{b\}, false.a(t_s, P_8)));$$

$$((M_{P6}(b) = 0) \vee (M_{P5}(a) > 0)) \Rightarrow (true.a(t_s, P_8) = M(\{a\}, false.a(t_s, N_1))).$$

Расшифровка позиций:

- P1 - жилищная проблема;
 - P2 - беседа специалиста по социальной работе с осужденным (далее ССРО);
 - P3 - наличие прописки;
 - P4 - наличие родственных связей;
 - P5 - наличие жилплощади;
 - P6 - не готовы принять;
 - P7 - лицо БОМЖ;
 - P8 - нуждается в материальной помощи;
 - P9 - самоуправление осужденных;
 - P10 - письмо в администрацию города;
 - P11 - наличие работы с общежитием;
 - P12 - положительное решение;
 - P13 - отрицательное решение;
 - P14 - регистрация в журнале обращений;
 - P15 - обращения по этой проблеме ранее;
 - P16 - обобщение результатов;
 - P17 - решение проблемы, запись в журнал.
- N1, N2 - анализ и принятие решений по результату.

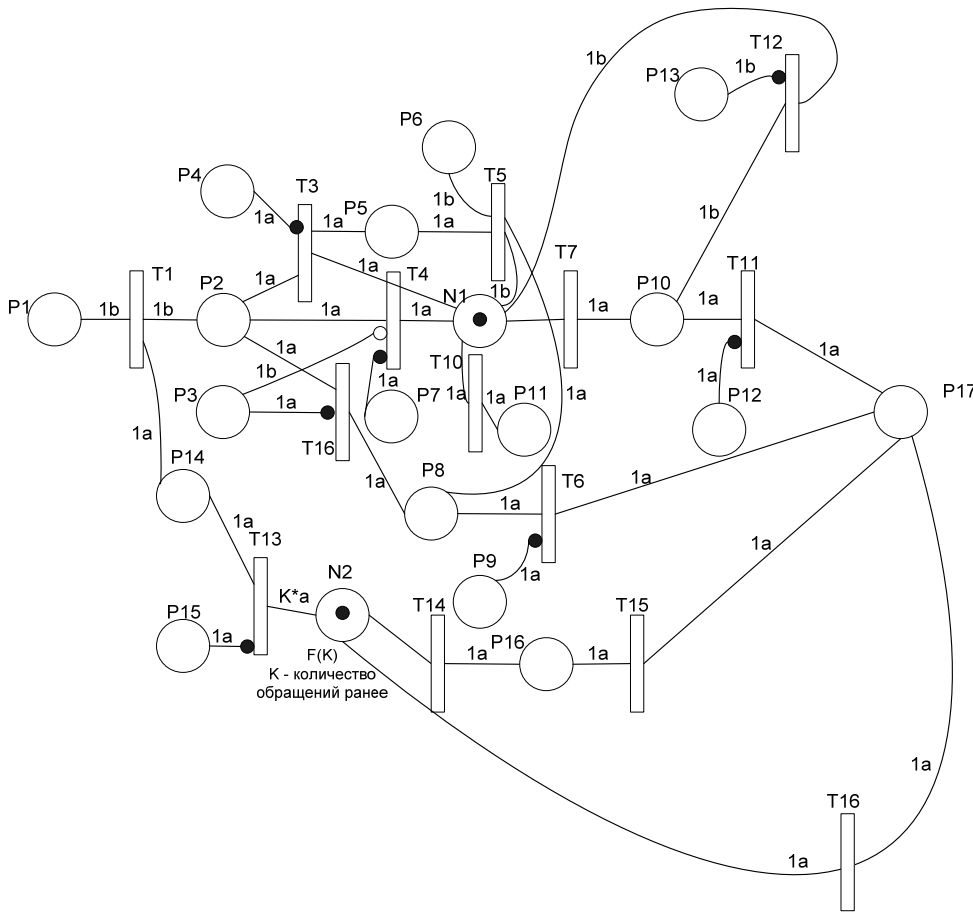


Рис. 1. Модель на базе НСП решения социальной проблемы по жилищному устройству осужденного

Нейропозиция N_1 сумматором меток из входных позиций перехода $P_2, P_4, P_6, P_{11}, P_{13}$. Суммирование меток ограничим 5 событиями в модели.

$$g_{N_1}(q_i) = \sum_{i=0}^{i=5} \frac{5-i}{5} m(\{a\}, (q_i - i)) - \sum_{i=0}^{i=5} \frac{5-i}{5} m(\{b\}, (q_i - i));$$

$$F_6, F_7, F_8 = a(t_3, N_1) = M(\{1a\}, 0); a(t_4, N_1) = M(\{1a\}, 0); a(t_{10}, N_1) = M(\{1a\}, 0);$$

$$a(t_{12}, N_1) = M(\{1b\}, 0); a(t_5, N_1) = M(\{1b\}, 0);$$

$$g_{N_1}(q_i) \geq 3 \Rightarrow a(N_1, t_7) = M(\{N^*a, K*b\}, 0), N = m(a, q_i - 1); K = m(b, q_i - 1).$$

Формулы для активизации нейропозиции N_2 будут подобны:

$$g_{N_2}(q_i) = \sum_{i=0}^{i=5} \frac{5-i}{5} m(\{a\}, (q_i - i));$$

$$F_6, F_7, F_8 = a(t_{13}, N_2) = M(\{K*a\}, 0); a(t_{16}, N_2) = M(\{1a\}, 0);$$

$$g_{N_2}(q_i) \geq (K+1)*a \Rightarrow a(N_2, t_{14}) = M(\{N^*a\}, 0), N = m(a, q_i - 1).$$

Модель нейронной сети Петри для процесса документооборота по оформлению пенсии осужденного, являющейся одновременно динамической моделью программного модуля пенсионного учета, представлена на рисунке 2.

Для перехода T_2 , соответствующего событию наступления права осужденного на пенсию, имеет место контрольное условие активизации выходных дуг:

$$K_{p_2} \geq 1; K_{p_{13}} \geq 1;$$

$$(M_{p_2}(\{a\}) > 0) \vee (M_{p_{13}}(\{b\}) = 0) \Rightarrow (\text{true}: a(t_2, p_3) = M(\{1a\}, \text{false}: a(t_2, p_{11})));$$

$$(M_{p_2}(\{a\}) = 0) \vee (M_{p_{13}}(\{b\}) > 0) \Rightarrow (\text{true}: a(t_2, p_{11}) = M(\{1b\}, \text{false}: a(t_2, p_3))).$$

Количество блоков, подобных T_5 - P_5 - T_6 , определяется количеством видов пенсионного и социального обеспечения, право на которые имеет осужденный, условно обозначенных на схеме буквой K . Переход T_7

по своей сути является прямым регулятором, влияющим на положительное решение и начисление пенсии осужденному. Функциональная зависимость $F(x)$, являющаяся составляющей для вычисления кратности выходной дуги перехода T_7 , фактически определяется формулой расчета размера пенсии (социального обеспечения) и может иметь любой вид (бухгалтерская отчетность).

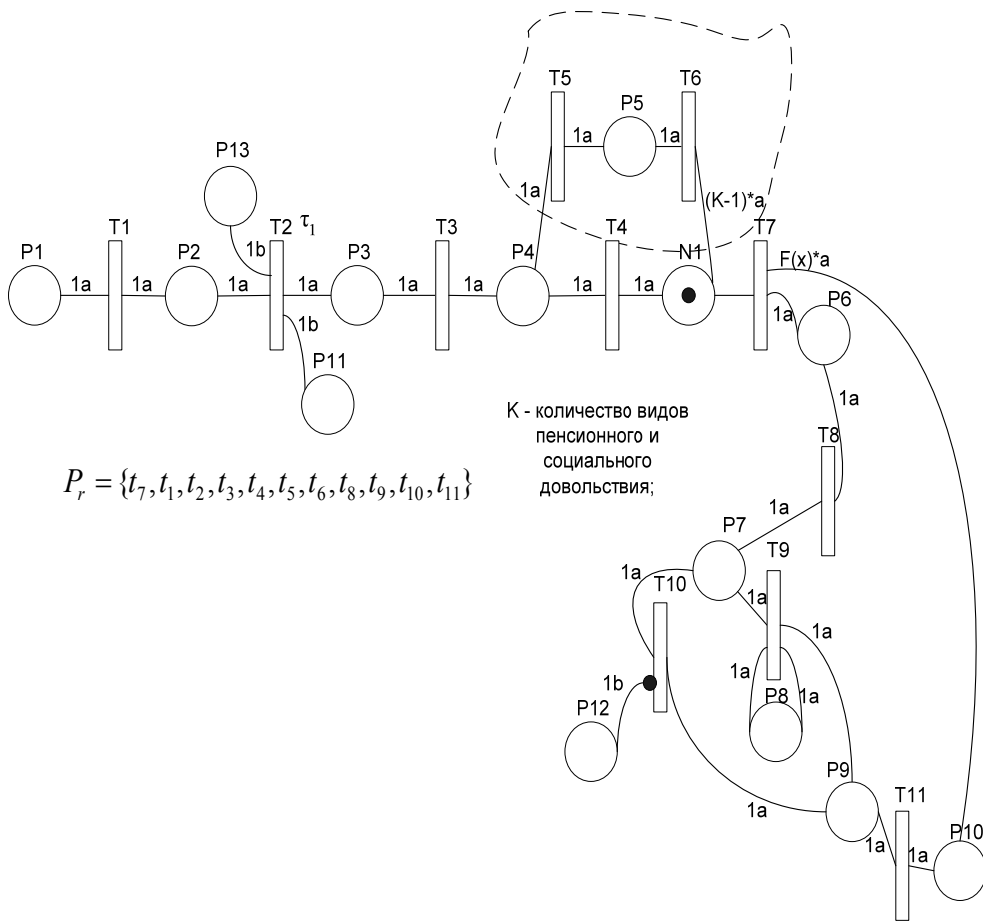
Количество видов пенсий также определяет маркировку нейропозиции N_1 и задает функциональную зависимость для активизации перехода T_7 (примем время жизни меток $s=5$):

$$g_{N_1}(q_i) = (K*a) \sum_{i=0}^{i=5} \frac{5-i}{5} m(\{a\}, (q_i - i));$$

$$F_6, F_7, F_8 = a(t_4, N_1) = M(\{1a\}, 0); a(t_6, N_1) = M(\{(K-1)a\}, 0);$$

$$g_{N_1}(q_i) \geq \sum_{i=1}^{i=K} f(x_i) \Rightarrow a(N_1, t_7) = M(\{N^*a, K*b\}, 0), N = m(a, q_i - 1); K = m(b, q_i - 1).$$

Несмотря на обособленность пенитенциарной социальной работы по своему направлению и специфике, ее существование невозможно без тесной связи между группой по социальной работе с осужденными и другими отделами исправительного учреждения, руководством учреждения, внешними гражданскими и ведомственными организациями (например, взаимодействие с центром занятости населения по вопросам трудоустройства освобождающихся осужденных [4]). Данную взаимосвязь также возможно условно промоделировать с помощью НСП. Для приведенной ниже модели характерна многосубъектность (группа соц. защиты, начальник учреждения, иные организации и т.п.) и многообъектность возникающих отношений.



Расшифровка позиций:

- P1 - беседа специалиста по социальной работе с осужденным;
- P2 - право на пенсию, соц. пособие;
- P3 - направление документов (в пенсионный фонд и др. организации);
- P4 - определение количества и видов пенсии;
- P5 - другие виды пенсий/соц. пособий кроме основной;
- P6 - определение даты очередного переосвидетельствования;
- P7 - нуждается в лечении;
- P8 - назначение/прохождение лечения;
- P9 - запись в журнал учета пенсионеров;
- P10 - положительное решение проблемы;
- P11 - отрицательное решение проблемы;
- P12 - лечение не назначено.
- N1 - суммирование и определение количественного номинала всего пенсионно-социального обеспечения.

Рис. 2. Модель на базе НСП решения проблемы пенсионного обеспечения осужденного

Для данной модели актуально описать контрольные условия срабатывания T_7-T_{12} :

$$\tau_1 = (K_1 \geq 0,5); \tau_2 = (K_2 \geq 0,5); \tau_3 = (K_3 \geq 0,5);$$

$$\tau_4 = (K_1 < 0,5); \tau_5 = (K_2 < 0,5); \tau_6 = (K_3 < 0,5).$$

Накопительная функция нейропозиций N_1, N_2, N_3 описывается следующими уравнениями:

а) для нейропозиции N_1 :

$$F_6, F_7, F_8 = \begin{cases} g_{N1}(q_i) = (K * a) \sum_{i=0}^{s-1} \frac{s-i}{s} m\{a, (q_i - i)\}; \\ A(t_1, \dots, t_{1+m}, N_1) = ((a(t_1, N_1) = M(\{1a\}, 0)), (a(t_2, N_1) = M(\{1a\}, 0)), \dots, (a(t_{1+m}, N_1) = M(\{1a\}, 0))); \\ g_{N1}(q_i) \geq \sum_{i=1}^{i=K} P_i^{N1} \Rightarrow a(N_1, t_3) = M((K * a), 0), K - \text{количество методов } \{P_1, P_2, \dots, P_{1+m}\}; \end{cases}$$

б) для нейропозиции N_2 и N_3 правила активизации аналогичны.

НСП хорошо применяются для решения задач прогнозирования развития ситуаций. Для пенитенциарной социальной работы одной из важных задач является задача определения рекомендаций для условно-досрочного освобождения (далее УДО) осужденного. Для облегчения процесса определения достоин ли осужденный УДО, применяется прогностическая НСП, на основе решения которой возможно принятие решения в сторону предоставления специалистом по социальной работе (или другим заинтересованным) той или иной рекомендации.

Приведем краткую методику прогнозирования моделей НСП:

1. Подбор ряда параметров, являющимися исходными и влияющим на результаты прогноза.

2. Загрузка сетевой модели НСП для проведения программного прогнозирования.

3. Задание дополнительных условий.

4. Моделирование сети.

5. Анализ выходной маркировки позиций.

6. Выполнение обучения сети при необходимости. Повторное моделирование.

7. Построение выходного ряда параметров.

8. Анализ результатов системой поддержки принятия решений (выравнивание результатов за несколько последних периодов/этапов).

НСП удобно использовать в качестве инструмента определения степени исправления осужденных и, следовательно, применимости условно досрочного освобождения.

Результаты исправления осужденных определяются комиссией исправительного учреждения (в ее состав входит старший специалист по социальной работе с осужденными), которая присваивает осужденным соответствующие им степени исправления: не встал на путь исправления, становится на путь исправления, встал на путь исправления, твердо встал на путь исправления.

Каждый критерий оценивается с помощью 3–4 показателей. Исправление осужденного оценивается степенью соответствия показателя критерия некоторому уровню оценочной шкалы (для простоты можно разделить оценочную шкалу на положительную и отрицательную зоны). Согласно методическим рекоменда-

ям по использованию системы социальных лифтов степени исправления присваиваются осужденному при условии соответствия личности большинству из критериев оценки. Это означает, что, несмотря на неколичественную природу показателей исправления осужденного, итоговый результат зависит от большинства отмеченных экспертами уровней критериев в каждой группе. Таким образом, в случае определения степени исправления осужденного возможно применение только количественных методов (без учета качества критериев исправления в каждой группе).

Накопительная функция нейропозиций N_1 описывается следующими уравнениями:

$$g_{N_1}(q_i) = \sum_{i=0}^{P_i/4} \left(\frac{P_i/4 - i}{P_i/4} \right) (f_i(b) \in f) * m(b, (q_i, -i));$$

$$F_6, F_7, F_8 = A((t_n \in T), N_1) = \{a(t_1, N_1) = M((f_1(b) \in f), 0), \dots, a(t_{k-3}, N_1) = M((f_k(b) \in f), 0)\};$$

$$g_{N_1}(q_i) \geq \sum_{i=1}^{P_i/4} (f_i(b) \in f) * b, \forall a(t_n \in T), N_1).$$

Вид функциональных зависимостей f может быть любой и регулируется либо в процессе обучения, либо пользователем. Для нейропозиций N_2, N_3, N_4 система уравнений аналогична только с учетом влияния на суммарный потенциал позиции меток типа a [5]. Под событиями, определяющими смягчение/ужесточение наказания, понимаются следующие решения: в перспективе смягчения – удовлетворение прошения об условно-досрочном освобождении, замена неотбытой части наказания более мягким видом наказания, перевод на лучшие условия содержания и т.д.; в перспективе ужесточения – отказ в освобождении условно-досрочно, перевод на более строгие условия отбывания наказания, продление срока наказания, посадка в карцер и т.п.

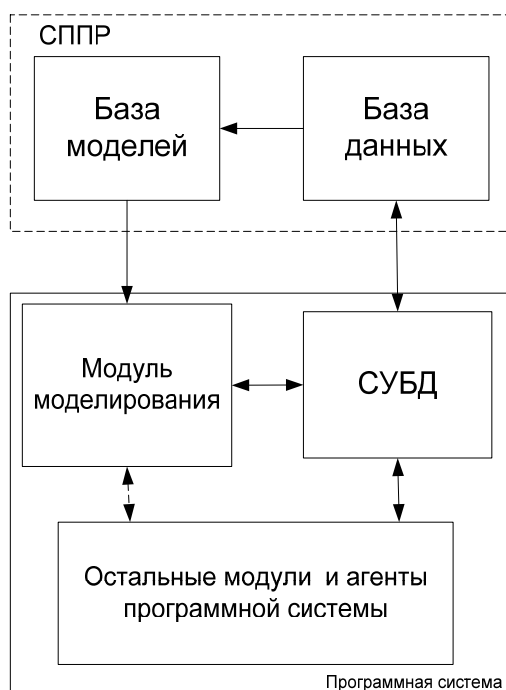


Рис. 3. Связь модуля моделирования с системой поддержки принятия решений

На основании результатов имитационного моделирования сети, представленной на рисунке 3, в специальной программе предлагается рекомендация решения по условно-досрочному освобождению осужденного, которая может быть использована при работе экспертной комиссии. При необходимости проводится обучение НСП по алгоритму обратного распространения ошибки.

Помимо моделирования социальных процессов и взаимосвязей на сетях НСП можно реализовать модель работы любого программного модуля, который впоследствии будет являться составной частью программной системы по автоматизации социальной работы с осужденными и ее оценке. Модуль моделирования является составной частью системы поддержки принятия решения, что позволяет быстро реагировать на изменение ситуаций [5, 6]. Расположение модуля моделирования в общей структуре системы поддержки принятия решений представлено на рисунке 3.

Разработанные модели социальной работы с осужденными позволяют автоматически учитывать различные ситуации, а также действия, совершенные осужденными, что дает возможность прогнозировать развитие событий.

Литература

1. Суконщиков, А. А. Нечеткие и нейронные сети Петри / А. А. Суконщиков, Д. В. Кочкин, А. Н. Швецов; под редакцией А. А. Суконщикова и А. Н. Швецова. – Курск, ЗАО Университетская книга. – 2019. – 209 с.
2. Суконщиков, А. А. Нейронные сети Петри для решения задачи поддержки качества обслуживания в сетевых устройствах / А. А. Суконщиков, Д. Ю. Крюкова // Системы управления и информационные технологии. – 2008. – №4 (34). – С.16–20.
3. Крюкова, Д. Ю. Разработка системы моделирования сложных систем на базе нейронных сетей Петри / Д. Ю. Крюкова, А. А. Суконщиков // Актуальные проблемы управления и экономики: история и современность. Материалы научной конференции. Северо-Западная академия государственной службы. – Вологда: Легия. – 2006. – С. 144–148.
4. Цыганов, М. Е. Эффективные пути активизации осужденных воспитательных колоний в поиске работы и трудоустройстве / М. Е. Цыганов. – Москва: Фонд ИНДЕМ, 2006. – 81 с.
5. Распределенные интеллектуальные информационные системы и среды / А. Н. Швецов, А. А. Суконщиков, Д. В. Кочкин [и др.]; под редакцией А. Н. Швецова и А. А. Суконщикова. – Курск, Университетская книга. – 2017. – 197 с.
6. Суконщиков, А. А. Обобщенная модель системы ситуационного интеллектуально-агентного моделирования / А. А. Суконщиков, С. А. Яковлев // Информационно-управляющие системы. – 2010. – № 2 (45). – С. 9–14.

D.Yu. Kryukova, A.A. Sukonschikov, A.N. Shvetsov, S.A. Yakovlev

MODELS OF PENITENTIARY SOCIAL WORK ON THE BASIS OF THE PETRI NEURAL NETWORK

The article presents models of social work with prisoners based on the Petri neural network. An algorithm for constructing a model is described. A mathematical description of the models is developed. A forecasting technique is proposed for models of the Petri neural network.

Social work with prisoners, Petri neural network, model.



АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ДОКУМЕНТООБОРОТА ПРЕДПРИЯТИЯ ЖИЛИЩНО-КОММУНАЛЬНОГО ХОЗЯЙСТВА

Основным видом деятельности учреждений жилищно-коммунального хозяйства является оказание достаточно большого спектра услуг потребителям. При этом руководство ЖКХ связано договорами с поставщиками различных видов ресурсов, техники и услуг, а также трудовыми договорами с собственными сотрудниками. В статье рассматривается разработка программного продукта, специально ориентированного для малых управляющих компаний ЖКХ, отличающегося от существующих на рынке программ тем, что не требует адаптации к конкретному учреждению ЖКХ, привлечения сторонних специалистов по сопровождению программы и минимальными требованиями к вычислительным ресурсам. Предлагаемое программное обеспечение позволяет полностью сформировать весь пакет документов в установленных законодательством формах.

Жилищно-коммунальное хозяйство, автоматизация документооборота, формы документов, базы данных, 1С: Предприятие.

Отношение населения к деятельности предприятий жилищно-коммунального хозяйства (ЖКХ) вряд ли можно назвать однозначным, но следует признать, что эта сфера услуг является социально значимой и наиболее востребованной. Поэтому не случайно, что правительства всех стран, в том числе и Российской Федерации, уделяют этой отрасли народного хозяйства очень серьезное и пристальное внимание.

Следует заметить, что сфера деятельности предприятий ЖКХ является весьма сложной. Это обусловлено, во-первых, наличием достаточно большого количества нормативных документов, регламентирующих качество и состав предоставляемых услуг, во-вторых, широким спектром этих услуг, в-третьих, достаточно частым изменением названных нормативных актов, в-четвертых, очень большим количеством отчетной документации и достаточно длительными сроками ее хранения.

Основным видом деятельности предприятий ЖКХ является оказание достаточно большого спектра услуг потребителям, где под потребителем понимается собственник помещения в многоквартирном доме, собственник жилого дома или домовладения, а также лицо, пользующееся на законном основании помещением в многоквартирном доме, жилым домом. Кроме того, руководство ЖКХ связано договорами с поставщиками различных видов ресурсов, техники и услуг, а также трудовыми договорами с собственными сотрудниками [3].

Следовательно, автоматизация документооборота указанной сферы даст возможность сократить бумажный документооборот, уменьшить время на обработку текущей и оперативной информации, увеличить количество заявок от посетителей, а также прием самих посетителей, интенсифицировать работу административных служб, высвободить время для реализации новых проектов и, в целом, повысить качество обслуживания населения.

Из видов работ и услуг, предоставляемых компаниями ЖКХ, можно выделить следующие: содержание общего имущества жилого дома, текущий ремонт общего имущества жилого дома, услуги по управлению (регистрационный учет граждан, оплата услуг банков и отделений почтовой связи по приему платы от населения и др.), начисление заработной платы работникам и оплата услуг поставщикам. В различных организациях этот список может быть либо расширен, либо сокращен. Применительно к ООО «Строительная компания» следует конкретизировать вышеуказанные работы и услуги. Сюда входят:

1. Анализ, проектирование и организация работ по техническому обслуживанию дома.
2. Проектирование и проведение ремонтных работ.
3. Прием и регистрация обращений жильцов (например, по вопросам организации ремонта).
4. Контроль над объемом и качеством поставляемых коммунальных услуг.
5. Создание и ведение технической документации.
6. Анализ финансовой деятельности управляющей компании.
7. Расчет себестоимости услуг и определение размера платежей за эти услуги.
8. Перечисление средств в счет оплаты коммунальных услуг их поставщикам.
9. Расчет заработной платы сотрудников компании.
10. Работа с должниками.
11. Привлечение инвестиций и определение средств, необходимых для проведения ремонтных работ.
12. Разработка, подготовка и юридическое оформление договоров.
13. Ведение претензионной и исковой работы, представительство в судах и органах государственной власти.
14. Рассмотрение и ответы на жалобы жильцов.
15. Оказание консультационной помощи.

16. Разработка внутренней документации.
17. Прием, оформление и регистрация входящей и исходящей корреспонденции.
18. Ведение текущей документации.
19. Подготовка документов к сдаче в архив.
20. Прием и регистрация заявок граждан.
21. Ведение деловой переписки и телефонных переговоров.

Отдельным структурным подразделением управляющего предприятия является отдел по работе с населением, более привычное название для всех – паспортный стол. В обязанности сотрудников этого подразделения входят: выдача или замена паспорта, постановка и снятие граждан с регистрации в определенной квартире (в том числе и первичная постановка на учет новорожденного ребенка), оформление жильцам на основании их заявок справок и других подтверждающих документов (например, выписок из домовой книги).

Таким образом, в программном продукте должны пересекаться три вида учетных систем: бухгалтерский учет для внешних пользователей, бухгалтерский учет для внутренних пользователей и управленческий учет [2].

Для автоматизации документооборота названной компании логично проанализировать, что же предлагается на рынке программных продуктов. Из наиболее популярных для сферы ЖКХ можно отметить следующие.

1С: Учет в управляющих компаниях ЖКХ, ТСЖ и ЖСК. Наверное, самый распространенный и популярный программный продукт. Русифицированный интерфейс. Возможность формирования отчетных документов требуемого вида. При заключении договора о сопровождении возможность не только обновления платформы, но и вновь вышедших нормативных актов. Достаточно большое количество частных специалистов и фирм, предлагающих услуги по поддержке программного обеспечения 1С. В целом, неплохой программный продукт, но, во-первых, изначально слишком избыточный функционал, особенно для небольших предприятий, во-вторых, одновременно с его приобретением зачастую (почти всегда) приходится приобретать и большой спектр услуг от производителя. Следует также не забывать и про ежемесячную поддержку. При всех плюсах данного программного обеспечения следует отметить, что стоимость владения им (с учетом базовой платформы, на которую этот продукт будет установлен) далеко не демократична.

Контур ЖКХ. В этом случае производитель сразу предлагает покупать другие составляющие, что означает, что все компоненты – это отдельные программы. Соответственно, возникают сложности при их совместной настройке и использовании, а также вряд ли это будет удобным при ведении делопроизводства.

Инфо-Предприятие ЖКХ. Очень неплохой продукт, понятный интерфейс, но предполагается работа с облачными технологиями. В рассматриваемом случае не приветствуется, так как в период сдачи отчетной документации (в том числе и в налоговые органы) в конце финансового года предоставить эту документацию в указанные сроки не получается (вспомните

проблемы сотовой связи перед самым Новым годом), что грозит серьезными штрафными санкциями.

Не претендуя на полноту приведенного анализа, все же можно сделать вывод о наличии лишь универсальных программных средств для автоматизации документооборота области ЖКХ, что предполагает, во-первых, адаптацию к конкретному учреждению ЖКХ, а во-вторых, привлечение сторонних специалистов, и, соответственно, финансовых средств к этой адаптации и дальнейшему сопровождению приобретенного программного обеспечения. При этом не секрет, что на сегодняшний день указанная отрасль предоставления социальных услуг является все же недостаточно финансируемой.

Поэтому вторым вариантом автоматизации можно рассматривать синтез собственного программного обеспечения с выбором наиболее целесообразных программных платформ. Этот вариант привлекателен еще и тем, что изначально ориентирован на требования конкретного предприятия (ООО «Строительная компания»), следовательно, не является функционально избыточным по сравнению с универсальным программным продуктом, и, соответственно, экономически дешевле. Кроме того, желательно использовать имеющуюся в наличии в организации оргтехнику и программное обеспечение, без приобретения дополнительных аппаратных и программных средств для реализации автоматизированной системы обработки информации или с минимально необходимыми приобретениями.

Исходными данными для разработки автоматизированной системы документооборота на текущий момент являются следующие:

- два компьютера: Intel Core i3 3240 (двухъядерный), Intel HD Graphics 2500, 4 Гб (DDR3), HDD 500 Гб;
- коммутатор Cisco 2960;
- принтер Samsung SCX-3205;
- программное обеспечение Windows 7;
- программное обеспечение 1С Предприятие 8.3;
- программное обеспечение MS Office 2010;
- программное обеспечение ESET NOD32 Antivirus.

Так как 1С: Предприятие уже есть в наличии, то логично провести синтез программной реализации автоматизированной системы именно на этой платформе, но с учетом конкретных требований и особенностей производственной деятельности именно этой организации (ООО «Строительная компания»).

1С: Предприятие – это не просто программа, существующая в виде набора неизменяемых файлов, а совокупность различных программных инструментов, с которыми работают разработчики и пользователи. Логически всю систему можно разделить на две большие части, которые тесно взаимодействуют друг с другом: конфигурацию и платформу, которая управляет работой конфигурации [4]. Конфигурация представляет собой описание, в том числе описывает структуру данных, которые пользователь будет использовать в режиме работы 1С: Предприятие.

Для того чтобы систему «1С: Предприятие» можно было быстро и легко настраивать на нужные прикладные задачи, все описание, которое содержит конфигурация, состоит из неких логических единиц, на-

зываемых объектами конфигурации. С одной стороны, объекты конфигурации – это детали условного «конструктора», из которого собирается конфигурация. Эти детали можно создавать в каком угодно количестве и соединять их между собой различными способами. Разумеется, что часть связей между объектами конфигурации в процессе синтеза собственного программного продукта средствами 1С будет скрыта от разработчика этого продукта (та, которая разрабатывалась программистами фирмы 1С), однако платформа 1С предоставляет программистам прикладного уровня более продвинутое предложение для реализации полностью индивидуальных решений [1].

Следует также отметить, что зачастую бухгалтерские работники уже имеют некоторый опыт работы с продуктами 1С, что также является дополнительным положительным моментом в пользу реализации названной системы на этой платформе 1С.

Объект конфигурации Справочник предназначен для работы со списками данных. Свойства и структура этих списков описываются в объектах конфигурации Справочника, на основе которых платформа создает в базе данных таблицы для хранения информации из этих справочников.

Для работы с кадрами потребуется справочник Сотрудники, который состоит из элемента сотрудник. Каждый элемент справочника, как правило, содержит некоторую дополнительную информацию, которая подробнее описывает этот элемент. В случае с сотрудниками это: дата рождения, ИНН, СНИЛС и т.д. Кроме этого, каждый элемент справочника может содержать некоторый набор информации, которая одинакова по своей структуре, но различна по количеству, и предназначена для разных элементов справочника. Для данного справочника это информация о составе семьи и образовании. Для описания этой информации используют табличные части объекта конфигурации Справочника.

Таким образом, созданы справочники: Сотрудники, Должности, Кассы, Контрагенты, Организации, Подразделения, Пользователи, СтраныМира, ГрафикРаботы.

Здесь в качестве примера представлен справочник Сотрудники с реквизитами и табличными частями:

- ФИО – тип Строка, длина неограничена;
- ДатаРождения – тип Дата, состав даты Дата;
- ВАрхиве – тип Булево;
- Пол – Перечисление.Ссылка.Пол;
- СНИЛС – тип Строка, длина 14. Шаблон ***-***-*** **;
- ИНН – тип Строка, длина 12;
- Должность – тип Справочник.Ссылка.Должности;
- Оклад – тип Число, длина 15, точность 2;
- ВидЗанятости – тип Строка, длина 70;
- ГрафикРаботы – тип Справочник.Ссылка.ГрафикиРаботы;

При добавлении реквизитов этого справочника сразу видно, что он связан с объектом конфигурации Перечисление, предназначенным для описания структуры хранения постоянных наборов значений, не изменяемых в процессе работы конфигурации, а также ещё с двумя объектами конфигурации: Справочник Должности и Справочник ГрафикРаботы. На рисунке 1 показана структура таблиц базы данных со связями для этого справочника.

Отдельно стоит отметить объект конфигурации Документ, который предназначен для описания информации о совершенных хозяйственных операциях или событиях, произошедших в жизни организации вообще.

Логика работы документов отличается от логики работы других объектов конфигурации. Документ обладает способностью проведения. Факт проведения документа означает, что событие, которое отражает документ, повлияло на статус учета.

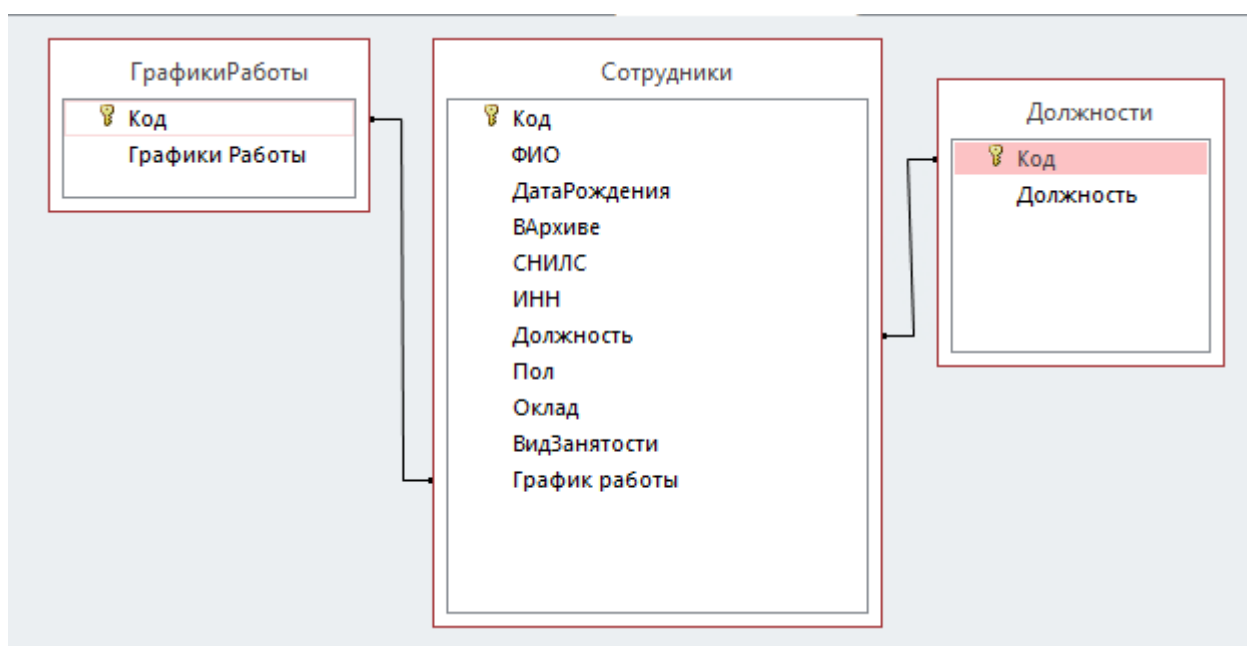


Рис. 1. Структура таблиц базы данных для справочника Сотрудники

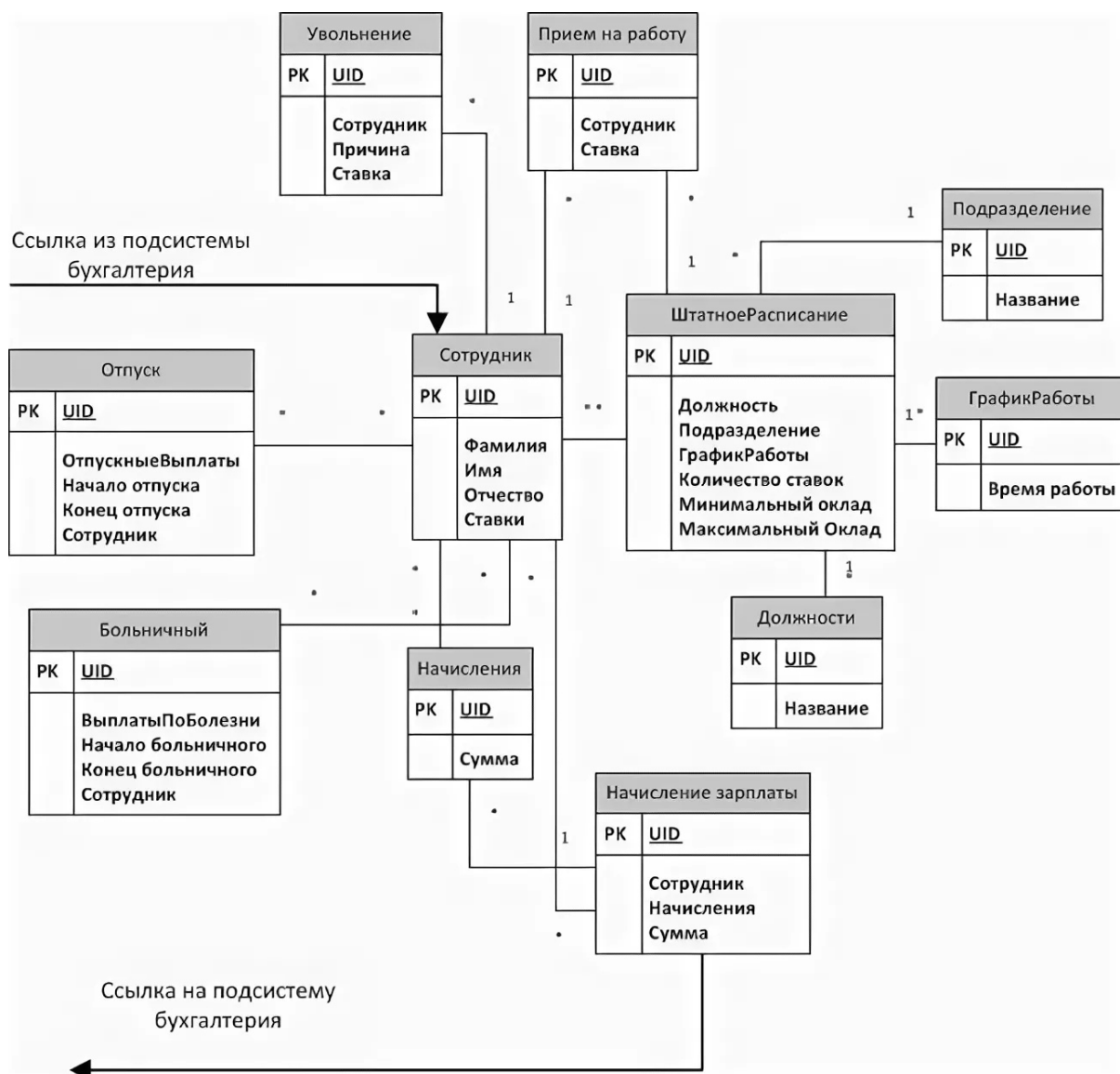


Рис. 2. Структура базы данных для справочника «Сотрудники»

Не вдаваясь в подробности, какие документы будут первоначально внесены или добавлены в систему потом, представим структуру базы данных опять же для справочника Сотрудники со связями с документами и другими справочниками (рис. 2).

Таким образом, задачами разработки являются синтез структуры всей базы данных, интерфейса пользователя (пользователей) и форм входящих и отчетных документов.

Анализ всех видов документов и форм отчетности позволил сформировать структуру базы данных, состоящую из следующих таблиц: счет-фактура, продавец, товарная накладная, требование-накладная, сотрудники, единица измерения, товар, страна. Уникальными идентификаторами таблицы связаны друг с другом следующим образом: таблица «Продавец» связана с таблицами «Счет-фактура» и «Товарная накладная», таблица «Товар» с таблицами «Требования-накладная», «Товар накладная», «Страна», «Единица измерения», таблица «Сотрудники» с таблицей «Счет-фактура».

Основными таблицами базы данных для учета товаров, покупаемых в организацию, в том числе мало-

ценных и быстроизнашивающихся предметов, являются следующие: сотрудники, товар, единица измерения, товарная накладная, требование-накладная, счет-фактура, продавец. Остальные таблицы являются либо связующими, либо вспомогательными. Это как раз минимально достаточное количество таблиц, позволяющих на сегодняшний день полностью автоматизировать документооборот для учета товаров в организации, предназначенных для работы сотрудников предприятия ООО «Строительная компания».

Разумеется, что подобную систему автоматизированного документооборота можно было бы создать на основе популярных на сегодня баз данных, таких как Microsoft Access, Oracle, dBase, SQL Server и других. Однако платформа 1С, на взгляд авторов, показалась более удобной. Во-первых, сам программный продукт 1С фактически является языком высокого уровня для рассматриваемых задач, освобождая разработчиков от детального знания конкретного интерактивного языка запросов конкретной СУБД, во-вторых, 1С предоставляет достаточно неплохой графический функционал для синтеза интерфейса конечного пользователя, в-третьих, позволяет с минимальными затратами

сформировать требуемые формы отчетной бухгалтерской документации. Справедливости ради следует отметить, что и сама платформа 1С является надстройкой над базой данных MS SQL Server. Кроме того, положительным моментом реализации системы документооборота на базе 1С является и то, что платформа 1С существует в двух вариантах: в полноценном клиент-серверном и в файловом. Последний вообще требует минимальных вычислительных ресурсов от рабочей станции пользователя.

Следует также заметить, что отсутствие избыточного функционала, присутствующего даже в стандартной комплектации 1С: Учет в управляющих компаниях ЖКХ, ТСЖ и ЖСК, позволяет, во-первых, использовать компьютерную технику и оргтехнику с более слабыми вычислительными возможностями, что характерно для небольших предприятий ЖКХ, а, во-вторых, отказаться от услуг сторонних специалистов по сопровождению продуктов 1С ввиду изначально спроектированного программного обеспечения именно для малых управляющих компаний. Предлагаемое программное обеспечение не требует дополнительной предварительной настройки, а просто импортируется как объект конфигурации в «чистый» продукт 1С.

Синтезированный интерфейс пользователя интуитивно понятен офисным сотрудникам и не вызывает сколько-нибудь серьезных проблем при работе с программой.

Хотя синтезированный программный продукт и является полностью авторским, предназначенным для автоматизации документооборота малых управляющих компаний, однако формируемые формы документов, такие, например, как приказы по учреждению, счета, накладные, акты сверки, различные выписки и другие, должны соответствовать требованиям к отчетной документации, то есть быть установленно-образца, особенно для налоговых органов. Поэтому

формы этих документов в статье не приводятся (они стандартны). Для формирования таких документов были написаны программные скрипты их создания.

Разрабатываемая система создавалась для увеличения качества и оперативности обслуживания клиентов, обладая при этом только необходимым функционалом для учреждений ЖКХ и, как следствие, минимизированной стоимостью и невысокими требованиями к аппаратным вычислительным ресурсам. Однако с ее помощью возможно проведение учета и анализа выполненных работ за любой отчетный период, контроль по квалификации и деятельности сотрудников, быстрое начисление заработной платы сотрудникам, оперативное получение достоверной информации по клиентам.

Литература

1. Алексеев, А. 1С: Предприятие 8.2. Руководство администратора / А. Алексеев, А. Везбородов. – Москва : ЗАО 1С, 2009.

2. Погорелец, А. В. Разработка автоматизированной системы документооборота ООО «Строительная компания» / А. В. Погорелец // XII Ежегодная научная сессия аспирантов и молодых ученых : материалы межрегиональной научной конференции : в 2 томах / Министерство науки и высшего образования Российской Федерации ; Вологодский государственный университет ; [редактор А. А. Сеницын]. – Вологда : ВоГУ, 2018. – Т. 1 : Естественно-техническое направление. – С. 151–154.

3. Ускова, Т. В. Жилищно-коммунальное хозяйство муниципалитета: состояние, проблемы, тарифное регулирование / Т. В. Ускова, А. С. Барабанов. – Вологда : Российская академия наук, 2013. – 132 с.

4. Радченко, М. Г. 1С: Предприятие 8.3. Практическое пособие разработчика / М. Г. Радченко, Е. Ю. Хрусталева. – Москва : ООО «1С-Пабблишинг», 2013.

A.V. Pogorelets, S.B. Fedotovskij

AUTOMATED SYSTEM OF DOCUMENT FLOW AT HOUSING AND COMMUNAL SERVICES ENTERPRISE

Primary activity of the institutions of housing and communal services is rendering rather big range of services to consumers. At the same time the management of housing and public utilities is connected by contracts with suppliers of different types of resources, equipment and services and also employment contracts with its own employees. The article deals with the development of the software product which is specially focused on small management companies of housing and public utilities, which is different from the programs existing in the market by the fact that it does not demand adaptation to a specific housing and public utilities company, involvement of third-party specialists in support of the program and the minimum requirements to computing resources. The offered software allows to create completely all package of documents in the forms established by the legislation.

Housing and communal services, automation of document flow, form of documents, databases, 1С enterprise.



Д.С. Ревунов
ООО НПФ «КРУГ»

А.Д. Семёнов
Пензенский государственный университет

ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЙ КОМПЛЕКС ОПТИМИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ГОРЕНИЯ ТОПЛИВА

В работе представлен программно-аппаратный комплекс оптимизации процесса горения топлива, в котором используются методы современной теории автоматического управления и автоматизации технологических процессов, теории вероятностей и математической статистики, компьютерного моделирования. Синтезированная экстремальная система управления горением позволяет снизить расход топлива в котельной установке.

Котельная установка, горелка, котлоагрегат, соотношение «топливо-воздух», алгоритм поиска экстремума, метод наименьших квадратов.

Теплоэнергетика – отрасль промышленности, отличающаяся широкой механизацией технологических процессов, высокими параметрами рабочей среды, требованиями к точности их регулирования, а также наличием собственного источника энергии; является той областью науки и техники, где постоянно находят приложение методы теории и новые технические средства автоматического управления.

Программно-аппаратный комплекс (ПАК) предназначен для оптимизации процессов горения в тепловых установках, и может быть использован в составе систем контроля горения в топках промышленных котлов. Применение программно-аппаратного комплекса направлено на повышение энергоэффективности котельных установок и снижение загрязнений атмосферы вредными продуктами путем повышения точности ведения процесса горения топлива, который на практике носит экстремальный характер.

На практике применяется несколько видов систем регулирования соотношения «топливо-воздух». Наиболее распространенные из них:

1. Система управления процессом горения, в которой поддерживается соотношение «топливо-воздух» в соответствии с заранее подготовленной режимной картой [1]. Недостатком данной системы является сложность составления режимной карты и неэффективность при определенных условиях (износ технологического оборудования, изменение состава топлива и т.д.), что приводит к возникновению статической ошибки регулирования.

2. Система управления процессом горения, в которой происходит экстремальное управление с обратной связью по тому или иному показателю качества работы котельной установки. Недостатком данной системы является низкое быстродействие и низкая помехозащищенность [2].

3. Система управления процессом горения по составу дымовых газов. Недостатком данной системы является высокая стоимость и недолговечность сенсоров оксида углерода (или кислорода) и трудоемкость монтажа датчиков в дымовом тракте котельной установки [3].

В программно-аппаратном комплексе заложен алгоритм управления горением топлива с адаптацией метода поиска экстремума [2] для систем оптимизации процесса горения топлива, т.е. поиск в реальном времени оптимального соотношения «топливо-воздух», обеспечивающего заданную производительность котельной установки с минимальным расходом топлива.

Сущность алгоритма, заложенного в программно-аппаратном комплексе оптимизации горения топлива, заключается в следующем (рис. 1):

1. С помощью датчиков измеряется текущее значение расхода топлива и воздуха, поддерживаемых с помощью соответствующих стандартных регуляторов топлива (РТ) и воздуха (РВ).

2. В блоке вычисления коэффициента передачи воздух-топливо (БВК) происходит вычисление коэффициента отношения расхода топлива к расходу воздуха.

3. В блоке поиска нуля (БПН) с помощью поисковых движений, воздействующих на регулирующий орган подачи воздуха РВ, добиваются, чтобы вычисляемый коэффициент был близок к нулевому значению [3].

Сочетание новых признаков (п. 1 и п. 2) с известным (п. 3) позволяет снизить удельный расход топлива на единицу производимой продукции котельной установки. Техническим результатом данной системы управления является повышение эффективности работы котельной установки и снижение загрязнений атмосферы вредными продуктами.

На первом этапе разработки программно-аппаратного комплекса с целью оценки эффективности экстремального регулятора была разработана математическая модель процесса горения с экстремальным регулятором в приложении Simulink [4]. Анализ полученных результатов (рис. 2) позволяет установить, что экстремальный регулятор, работающий в условиях помех, практически полностью исключает дрейф экстремума, вызванного воздействием гармонического сигнала.

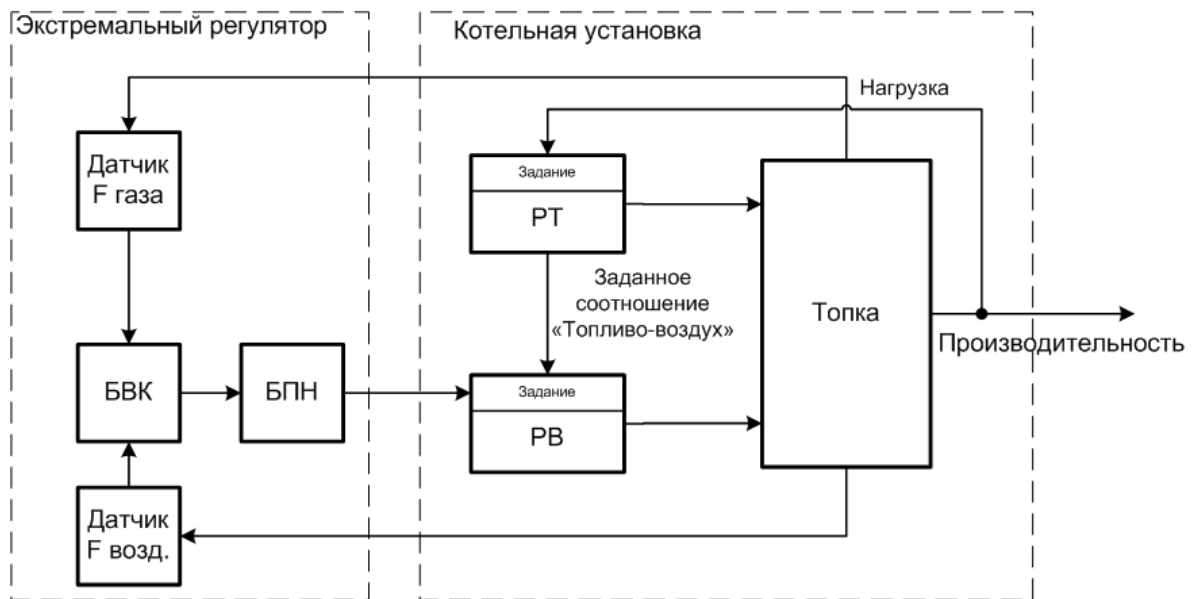


Рис. 1. Функциональная схема оптимизации процесса горения топлива

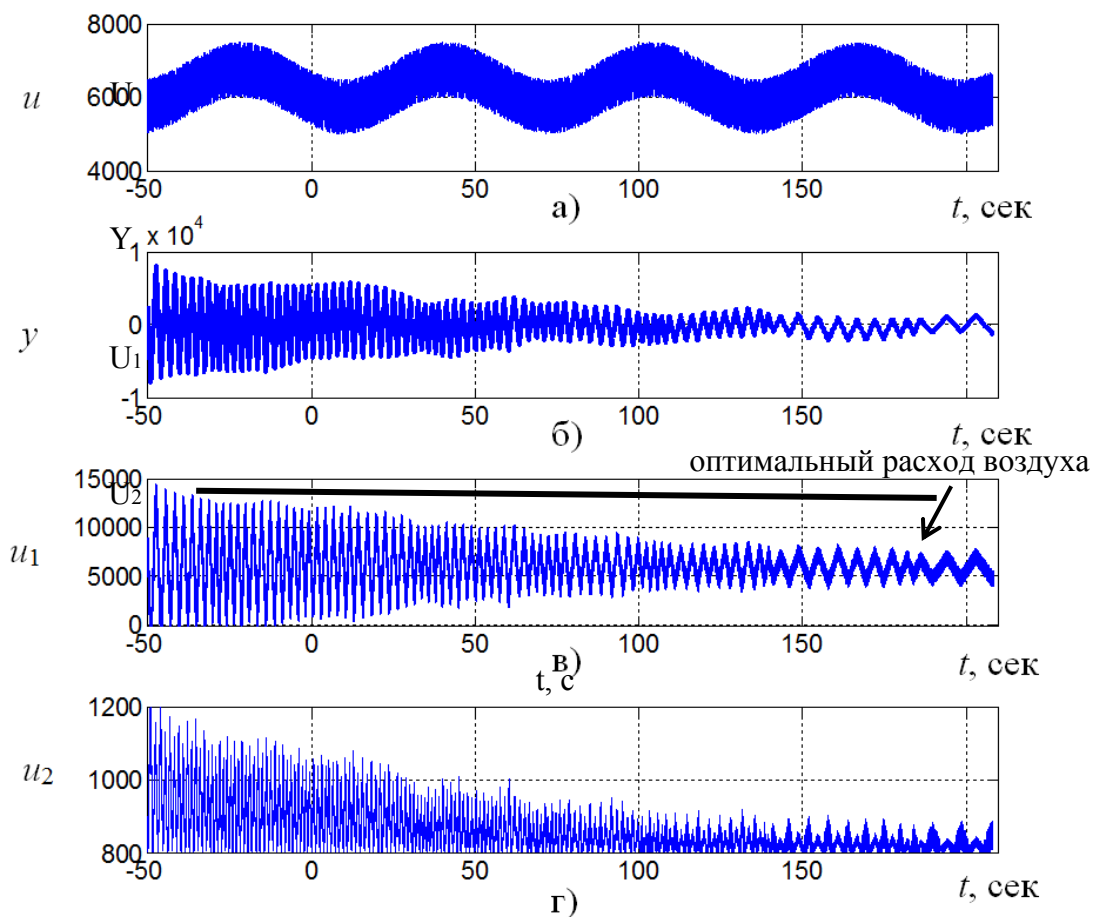


Рис. 2. Осциллограммы входного сигнала u (а), управляющего воздействия экстремального регулятора y (б), сигнала на входе нелинейного элемента u_1 (в), сигнала на выходе нелинейного элемента u_2 (г)

После подтверждения эффективности предложенного алгоритма спроектирован и сконструирован программно-аппаратный комплекс оптимизации горения топлива (рис. 3).

Разработано прикладное (пользовательское) программное обеспечение для интеграции в состав программного обеспечения контроллерного оборудования.

Проведенная комплексная настройка и проверка работоспособности программно-аппаратного комплекса на полигоне ещё раз подтвердила эффективность предложенного способа регулирования процесса горения топлива. В результате испытаний подтверждено снижение расхода природного газа на 3,6%.



Рис. 3. Внешний вид программно-аппаратного комплекса

С целью подтверждения технико-экономической эффективности в настоящий момент выполняется подготовка к проведению опытной эксплуатации программно-аппаратного комплекса в составе автоматизированной системы управления горением топлива промышленной газовой горелки. Прогнозируемое повышение эффективности котельной установки – от 2 до 4%. Например, для котлоагрегата ТГМЕ – 464, работающего при средней производительности 450 тонн пара в час, экономия будет составлять около 27 млн. рублей в год.

Литература

1. Плетнев, Г. П. Автоматизированные системы управления объектами тепловых электростанций / Г. П. Плетнев. – Москва : МЭИ, 1995. – 353 с.
2. Экстремальное регулирование котельного агрегата / Шмелев Н. В. [и др.] // Электрические станции. – 1967. – №10. – С. 31–37.
3. Патент №2471220 Российская Федерация, МПК G05B13/00. Способ поиска экстремума статистической характеристики инерционного объекта : № 2011119698/08 : заявл. 16.05.2011 : опубл. 27.12.2012 / Семенов А. Д., Авдеева О. В., Никитин А. С. ; заявитель и патентообладатель О. В. Авдеева.
4. Изерман, Р. Цифровые системы управления / Р. Изерман. – Москва : Мир, 1984. – 541 с.

D.S. Revunov, A.D. Semenov

SOFTWARE AND HARDWARE COMPLEX OF FUEL BURNING PROCESS OPTIMIZATION

The study presents the software and hardware complex of fuel burning process optimization. The complex uses the methods of the contemporary theory of automatic management and automation of technological processes, probability theories and mathematical statistics, computer modelling. The synthesized extreme combustion control system allows to reduce the fuel consumption in the boiler plant.

Boiler installation; burner; boiler unit; fuel-to-air ratio; extremum search algorithm; least square method.



МЕТОДЫ АНАЛИЗА ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ С ПОМОЩЬЮ АППАРАТА АГЕНТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫХ G-СЕТЕЙ ПЕТРИ

В статье рассматриваются вопросы применения агентно-ориентированных G-сетей Петри для моделирования бизнес-процессов производственного предприятия.

Агентно-ориентированные G-сети Петри, модель бизнес-процессов.

Существуют различные инструменты исследования систем, один из них – это сети Петри. Теория сетей Петри делает возможным моделирование системы математическим представлением ее в виде сети. Анализ сетей Петри помогает получить важную информацию о структуре и динамическом поведении моделируемой системы и выработки предложений по ее усовершенствованию и изменению. G-сети – это объектно-ориентированное расширение сетей Петри [1]. Система G-сети составлена из некоторого количества G-сетей, каждая из которых представляет автономный модуль или объект, доступ к которым определен через хорошо определенный механизм.

Для моделирования агентно-ориентированной структуры необходимо применить некоторое расширение G-сетей, которое позволит описать класс агента [2].

При создании агента (в виде модели), во-первых, генерируется идентификатор агента и инициализируется ментальное состояние, во-вторых, вводятся три специальных модуля, чтобы сделать агента автономным и внутренне мотивированным, а именно модуль цели, модуль базы знаний и модуль планирования. Абстрактная схема агентно-ориентированной G-сети показана на рисунке 1. Модуль цели описывает поставленные перед агентом цели, модуль базы знаний описывает окружающую среду и внутреннее состояние, которое агент данного класса может иметь, а модуль планирования составляет план достижения целей из модуля цели. Например, в модуле планирования агент может решать, игнорировать ли входящее сообщение, начинать новую беседу или продолжать беседу, которая была начата другим агентом или им самими.

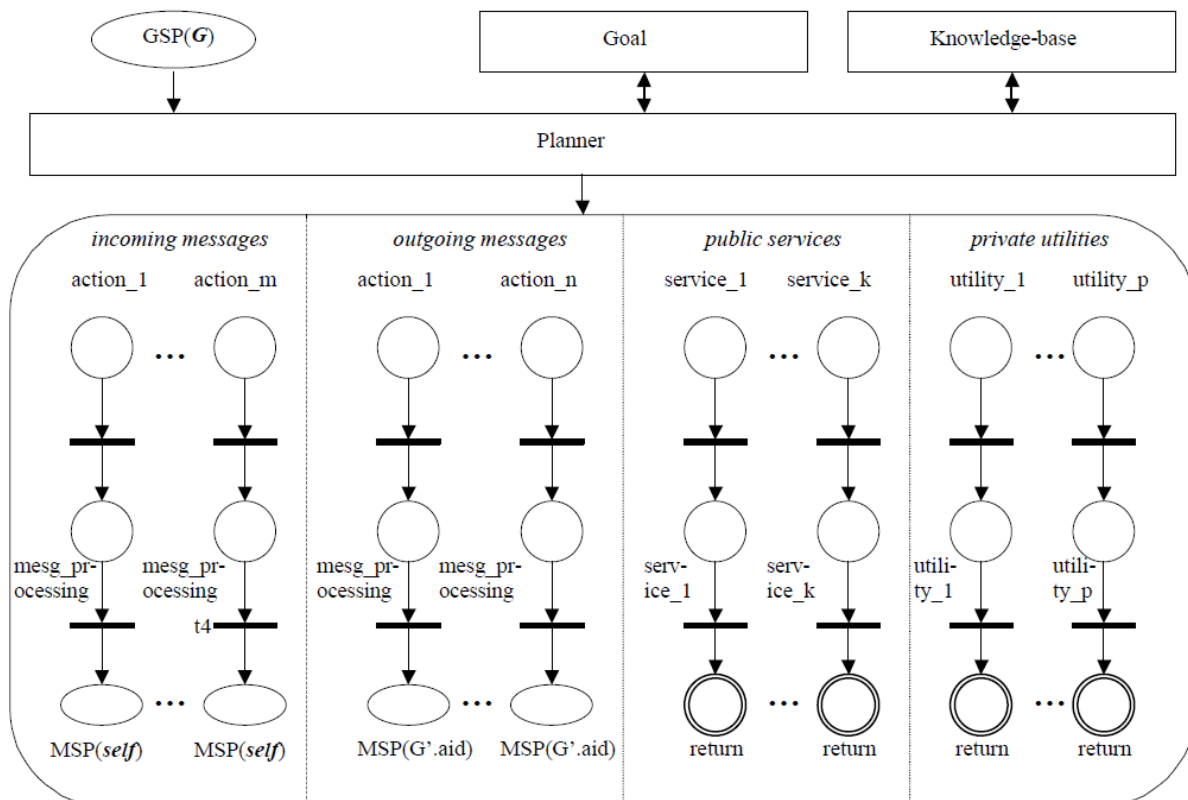


Рис. 1. Абстрактная схема агентно-ориентированной G-сети

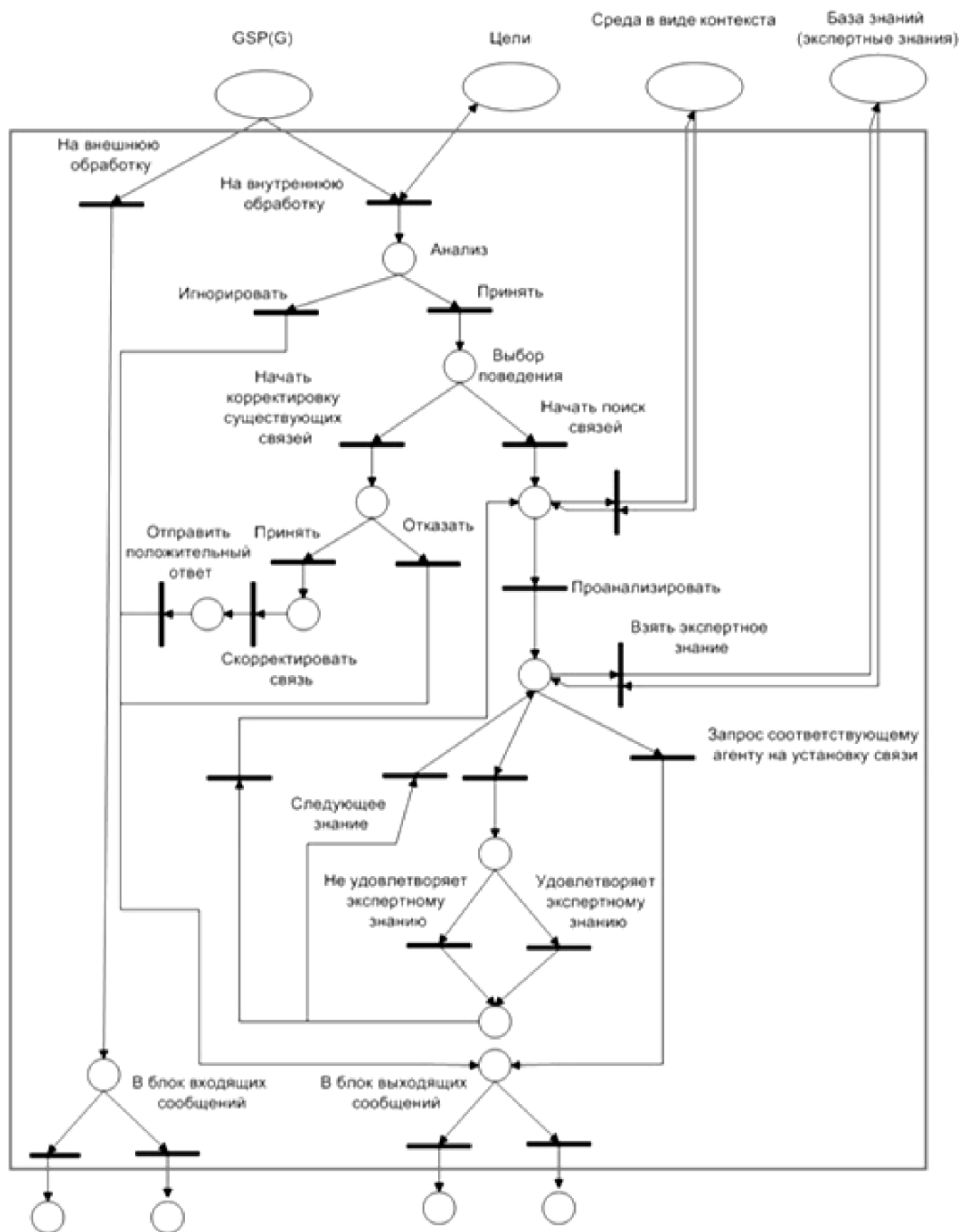


Рис. 2. Модуль планирования агентно-ориентированной системы

Внутренняя структура агентно-ориентированной G-сети состоит из 4-х секций: входящие сообщения, выходящие сообщения, публичные сервисы, приватные утилиты. В секциях входящий/выходящих сообщений определены *единицы обработки информации (MPU – message processing units)*, которые используются для обработки сообщений от других агентов и могут использовать ISP в качестве вызовов методов, определенных в секции приватных утилит. Секция публичных сервисов дает агенту возможность работы в качестве сервера. Другие агенты могут использовать механизм вызова функций ISP для синхронного выполнения этих сервисов. Секция приватных утилит подобна секции публичных сервисов, с отличием в том, что приватные утилиты могут быть вызваны только самим агентом.

Хотя и агенты, и объекты используют посылку сообщений для связи друг с другом, имеются некоторые отличия между ними. Отправка сообщений для объектов – это формирование уникального вызова метода, в то время как агенты отличают различные типы сообщений, модели этих сообщений и используют сложные протоколы для переговоров. К тому же большинство агентов связываются посылкой асинхронных сообщений. Асинхронная передача является более фундаментальной, чем синхронная. Для поддержки посылки асинхронных сообщений вводится новый механизм – место переключения отправки сообщений (MSP). Когда маркер достигает MSP (на рисунке он представлен эллипсом), маркер удаляется из места вызова и вносится в GSP место вызванного агента. В отличие от ISP механизма, вызывающий

агент не ждет, пока маркер вернется, прежде чем он продолжит выполнять следующий шаг. Также данное расширение G-сети позволяет использовать ключевое слово *self* для ссылки агента на самого себя.

Как и любое расширение, агентно-ориентированное расширение G-сетей поддается декомпозиции в обычные сети Петри. Таким образом, любую агентно-ориентированную систему можно представить в виде модели, тем самым на раннем этапе оценить плюсы и минусы, тупиковые ситуации, эффективность системы и т.д.

Используя данную модель можно смоделировать систему анализа бизнес-процессов на основе агентов, где каждый агент связан с отдельным бизнес-процессом. Таким образом, агенты, общаясь, могут правильно найти зависимости между друг другом и составить граф зависимостей бизнес-процессов между собой. По составленной модели можно проанализировать эффективность системы, промоделировать ее работу и сделать вывод о том, стоит ли ее реализовывать. Также возможен анализ работы отдельных компонентов (отдельных агентов) системы, который укажет на изъяны и поможет исправить их.

Рассмотрим модуль планирования данной системы, показанный на рисунке 2.

Модули цели и базы знаний представлены как два специальных места, каждый из которых содержит токен, который представляет набор целей или набор убеждений. Модуль планирования управляется целями, т.к. переход может сработать, только когда делается попытка достижения переданной цели. Действия в модуле планирования начинаются, когда на вход подается сообщение (от других агентов или от самого себя, используя слово *self*). Если сообщение пришло от другого агента, оно отправляется в модуль входящих сообщений, где после обработки возвращается и идет по переходу «На внутреннюю обработку». Далее относительно целей решается вопрос об игнорировании или принятии данного сообщения. В случае игнорирования оно уходит в блок выходящих сообщений, иначе продолжает обработку. В данном примере для агента имеется только два поведения: начать поиск новых связей, скорректировать старые. Первый вариант нужен для установки начальных связей, которые впоследствии будут корректироваться, а также для поиска новых в случае разрыва. Второй вариант служит для корректировки существующих связей, которые были ранее установлены.

Если пришло сообщение о начале поиска новых связей, то токен идет по ветке «Начать новый поиск». В этом случае модуль планирования берет данные из среды (контекста предложения) и пытается к ней

применить экспертные знания для определения уровня связанности.

В данном примере не указаны публичные сервисы и приватные утилиты. Однако при более подробной модели они имеют место.

Также следует отметить, что токен имеет несколько иную структуру в зависимости от того, по какой ветке он идет. Т.е. токен представляет собой кортеж из двух элементов: признака и тела. Признак – это вариант токена (например, для приватных утилит, для публичных сервисов, для внутренней обработки, для внешней обработки), а тело – конкретная реализация. Более конкретно токен можно определить следующим образом:

```
if (mTkn.tag ∈ (internal, external))
then mTkn.body = struct {
    int sender; // message sender identifier
    int receiver; // message receiver identifier
    string protocol_type; // protocol type
    string message_name; // message name
    string content; // message content
}
```

```
else mTkn.body = (seq, sc, msg);
```

Таким образом, применяя существующие G-сети, а также расширяя их для своих нужд, можно смоделировать практически любую агентно-ориентированную систему.

1. Применение сетей Петри и их расширений позволяет устранить нехватку формальной спецификации и инструментов проектирования агентно-ориентированных и объектно-ориентированных систем.

2. Позволит проектировать крупномасштабные и коммерческие приложения, увеличив гарантии того, что разработанные системы будут надежными и пригодными для выполнения поставленной цели.

Литература

1. Perkusich, A. G-nets: A Petri Net Based Approach for Logical and Timing Analysis of Complex Software Systems, / A. Perkusich and J. de Figueiredo // Journal of Systems and Software. – 1997. – № 39(1). – P. 39–59.

2. Haiping, X. An Agent-Based Petri Net Model with Application to Seller/Buyer Design in Electronic Commerce / Haiping Xu and Sol M. Shatz // In Proceedings of the IEEE 5th International Symposium on Autonomous Decentralized Systems (ISADS 2001) (Dallas, 26–28 March 2001). – Texas, USA, 2001. – P. 11–18.

A.N. Sorokin

METHODS OF MANUFACTURING ENTERPRISE INFORMATION SYSTEMS ANALYSIS ON THE BASIS OF AGENT-ORIENTED PETRI G-NETS

This article presents the approach to modelling and analysis of distributed enterprise information systems. The methods of analysis based on Petri nets are discussed. The proposed methodology for modelling and analysing distributed agents-oriented systems make it possible to evaluate important characteristics of the system's functioning.

Agent-oriented Petri G-nets, distributed enterprise information systems.



А.Н. Швецов, Д.С. Дианов
Вологодский государственный университет

С.В. Дианов
Вологодский научный центр Российской академии наук

РАЗРАБОТКА АГЕНТ-ОРИЕНТИРОВАННОЙ МОДЕЛИ ЛЕСНОЙ ЭКОСИСТЕМЫ*

В статье описана разработка агент-ориентированной модели лесной экосистемы, предназначенной для прогнозирования динамики роста объёма древесной массы. Отличительной особенностью представленной модели является использование аппарата нечёткого вывода для реализации поведения агентов.

Агент-ориентированное моделирование, экологическая система, нечёткий вывод.

При планировании развития лесопромышленного комплекса, необходимо правильно прогнозировать эффективность тех или иных стратегий, в том числе связанных с обеспеченностью сырьевой базой. Лес относится к возобновляемым ресурсам. Понимание динамики прироста полезной древесной массы на определенной территории позволит выстраивать грамотную политику по развитию системы лесопромышленных предприятий региона.

На рост деревьев оказывает влияние множество различных природных и климатических факторов. Комплексная оценка результата их влияния является сложной задачей. Для ее решения требуются адекватные модели. В этой связи при построении модели лесной экосистемы достаточно перспективным представляется использование агент-ориентированного подхода. Его основной принцип заключается в одновременном выполнении в некоторой среде множества взаимодействующих автономных программных сущностей – агентов. Таким образом, результаты работы модели формируются из совокупности взаимодействий агентов друг с другом и с окружающей средой.

Автономность агентов значительно упрощает процесс масштабирования модели, обеспечивая возможность внедрения в нее новых компонентов без необходимости изменения общей архитектуры. Также стоит учесть, что каждый агент является элементом, моделирующим тот или иной простой аспект сложной системы. Благодаря этому разработка общей модели сводится к разработке множества более простых независимых модулей.

При разработке агент-ориентированных моделей определяющую роль играет этап концептуализации, на котором определяются агенты, модели их поведения, компоненты среды и их свойства. В рамках решаемой проблемы необходимо создать модель экосистемы, в которой будут учтены все значимые для исследуемого параметра компоненты. В связи с этим были сформулированы следующие основные требования к модели [1]:

– модель состоит из элементов, имеющих различные наборы свойств с заданными начальными значениями;

– между элементами модели организованы связи в соответствии с существующими взаимодействиями компонентов моделируемой системы;

– модель обеспечивает изменение определенных свойств элементов, под влиянием связанных элементов, внешних регулирующих воздействий, либо изменения коррелирующих параметров в ходе процесса моделирования;

– существует возможность контроля периода моделирования.

Под экосистемой принято понимать совокупность организмов, живущих совместно в некоей среде обитания и взаимодействующих друг с другом. Одним из основных элементов экосистемы является биотоп. Биотоп – это участок с однородными экологическими условиями, который занимает биоценоз, представленный совокупностью неживых компонентов, однородное по абиотическим факторам среды пространство. Биотоп непосредственным образом влияет на развитие связанного с ним биоценоза, в том числе на развитие древостоя. Каждая экосистема может содержать множество биотопов [2]:

$$SO = \langle \Delta^{SO}, \{bt\} \rangle,$$

где Δ^{SO} – ареал среды обитания, $\{bt\}$ – множество биотопов среды обитания.

Биотоп имеет свой ареал в рамках ареала среды обитания и состоит из множества различных взаимосвязанных компонентов:

$$bt = \langle Nm^{bt}, \Delta^{bt}, \{K^{bt}\} \rangle,$$

где Nm^{bt} – имя биотопа, Δ^{bt} – ареал биотопа, $\{K^{bt}\}$ – множество компонентов биотопа.

Каждый биотоп может содержать множество компонентов, каждый из которых представляется системой следующего вида:

$$\tau^{bt} = \langle \{A\}, M \rangle,$$

где $\{A\}$ – множество свойств компонента, M – модель развития компонента.

* Работа поддержана грантами РФФИ № №17-06-00514 А, 19-01-00103 А и 18-47-350001 р-а

Любое свойство компонента определяется как:

$$A = \langle NA, DA \rangle,$$

где NA – имя свойства, DA – домен значений свойства.

Модель развития компонента определяет изменение значений его свойств во времени и зависит от определенной совокупности значений свойств компонентов биотопа:

$$M = \langle \{fR(\{A\})\}, \Delta t \rangle,$$

где fR – функция изменения значения свойства компонента, Δt – интервал времени изменения значений свойств компонентов биотопа.

Каждый компонент биотопа принадлежит конкретному типу, что определяет набор его свойств и модель развития:

$$K^{bt} = \langle \tau^{bt}, \mu A(t) \rangle,$$

где $\mu A(t)$ – матрица значений свойств компонента биотопа в момент времени t :

$$\mu A(t) = \{NA:VA\},$$

где VA – значение свойства компонента.

Представленная модель может быть реализована с использованием одного или множества программных агентов, основной целью которых является слежение за состоянием свойств компонентов биотопа и изменением их в соответствии с моделями развития.

Связь модели биотопа с моделями элементов других систем в общей модели экосистемы обеспечивается за счет того, что последние могут использовать текущие свойства моделей компонентов биотопа для построения моделей собственного развития.

Согласно агент-ориентированному подходу, элементы модели представляются в виде отдельных агентов, каждый из которых характеризуется собственной моделью поведения. В целях апробации предложенных подходов была создана упрощенная модель экологической системы лесного участка, содержащая три типа агентов: агент почвы, агент микроклимата и агент сосны.

Для программной реализации модели была выбрана среда моделирования AnyLogic [3], в которой реализована возможность создавать агент-ориентированные модели. Единицей модельного времени выбран год. В модели использованы усредненные за год значения параметров, имеющих сезонные колебания.

В соответствии с концепцией агент-ориентированного моделирования в среде AnyLogic внешняя среда модели определена агентом (main). Параметрами внешней среды являются:

- освещённость (light) – выражаемая в люксах величина, в нашем случае характеризует освещённость земной поверхности, не занятой растительностью;

- площадь (square) – величина, выражающая площадь, свободную для произрастания растений. Этот параметр вносит ограничение на максимальное количество древостоя на моделируемом участке леса;

- количество выпадающих осадков (rains).

В соответствии с предложенным подходом в модели определены три агента: агент микроклимата (micro), агент почвы (grnd) и агент сосны (pines).

На рисунке 1 показана общая структура модели в среде AnyLogic.

Для каждого агента, в свою очередь, определен набор свойств, характеризующих его текущее состояние. На рисунке 2 представлен вид созданного агента сосны в интерфейсе среды разработки AnyLogic.

Поведение агентов формируется в соответствии с функциональными зависимостями, существующими между параметрами элементов моделируемой системы. Вследствие того, что число параметров в функциональных зависимостях между элементами экосистемы лесного участка может быть достаточно велико, а их взаимное влияние слабо поддается формализации, описание моделей поведения агентов представляется нетривиальной задачей.

Для её решения авторами использован аппарат теории нечетких множеств, в частности, алгоритм нечёткого ввода Мамдани [4]. Классическая схема алгоритма нечёткого вывода представлена на рисунке 3.

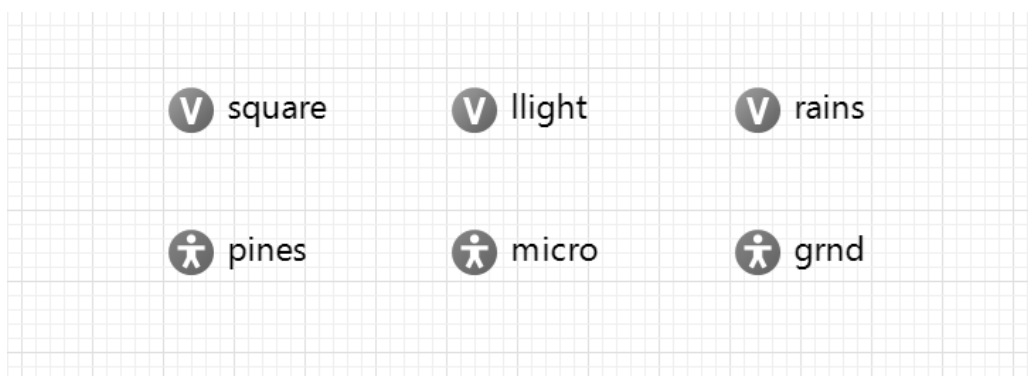


Рис. 1. Общая структура модели

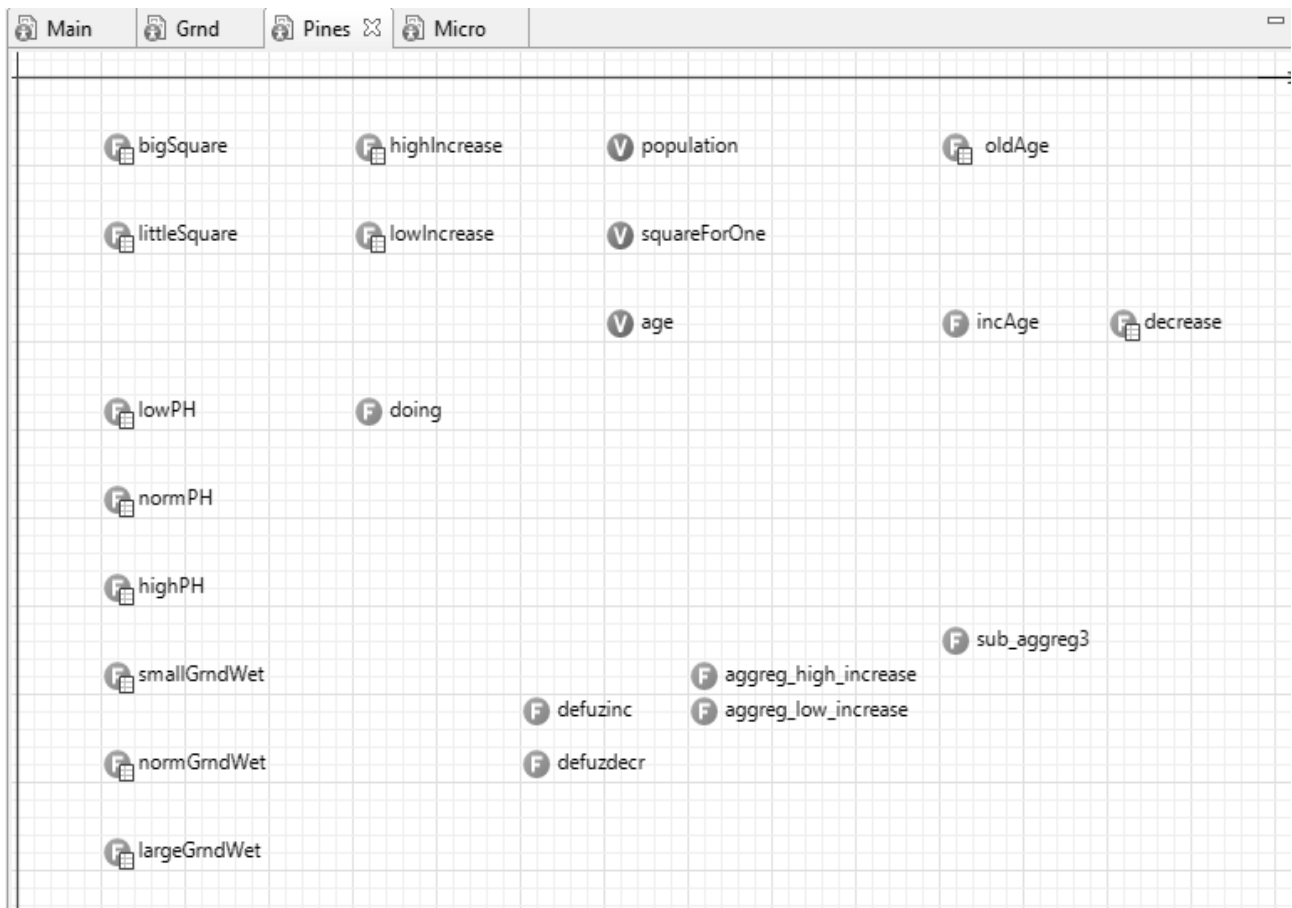


Рис. 2. Вид агента сосны в интерфейсе разработки AnyLogic

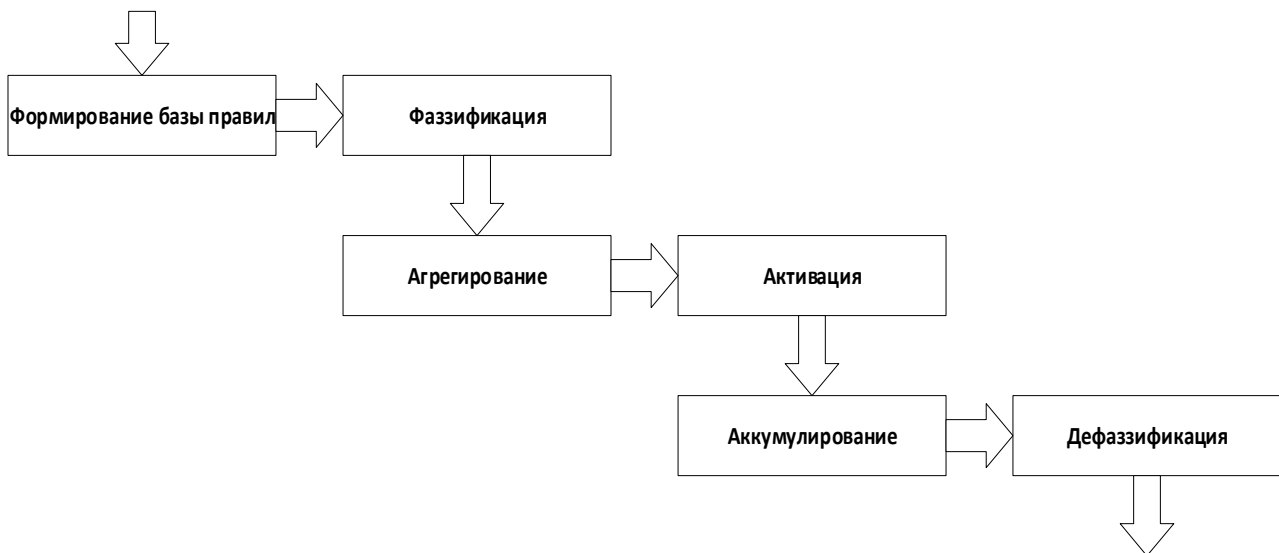


Рис. 3. Схема алгоритма нечёткого вывода

Для реализации моделей поведения агентов модели были сформированы наборы входных и выходных параметров и базы правил нечеткого вывода. Для агента сосны они имеют следующий вид:

- ЕСЛИ площадь большая И влажность средняя И кислотность нормальная, ТО прирост большой;
- ЕСЛИ площадь малая И влажность большая И кислотность кислая, ТО прирост малый;

- ЕСЛИ площадь малая И влажность большая И кислотность щелочная, ТО прирост малый;
- ЕСЛИ площадь малая И влажность малая И кислотность кислая, ТО прирост малый;
- ЕСЛИ площадь малая И влажность малая И кислотность щелочная, ТО прирост малый;
- ЕСЛИ средний возраст старый, ТО отмирание.

Для реализации этапа фазификации были разработаны функции принадлежности для всех нечётких переменных, фигурирующих в базах правил. В среде AnyLogic они реализовывались с использованием механизма табличных функций: в них вручную устанавливались ключевые точки и выбирались различные режимы интерполяции с целью более тонкой настройки нечёткого вывода.

На этапе агрегирования определяется степень истинности условий по каждому правилу системы нечёткого вывода. Так как в базе правил агента используется только операция конъюнкции, то агрегирование производится операцией нахождения минимума значений нечётких переменных каждого высказывания. Для реализации данного алгоритма была создана функция `sub_aggreg3`, которая возвращает минимальное значение из значений трёх параметров, поданных на её вход. Агрегация утверждений про «высокий» и «низкий прирост» осуществляют функциями `aggreg_high_increase` и `aggreg_low_increase`, которые возвращают список значений истинности по всем высказываниям.

Полный цикл нечеткого вывода реализован в функции `doing`, которая определена для всех агентов. Она вызывается на каждом шаге выполнения модели и обеспечивает механизм воздействия агента на среду. По результатам ее работы реализуется следующий алгоритм изменения параметров модели:

- выполняется расчёт прироста популяции сосны;
- вычитается из свободной площади произведение прироста на среднюю площадь, занимаемую одним деревом;
- вычитается из популяции значение отмерших деревьев;

- прибавляется к свободной площади площадь, освобождённая отмершими деревьями;
- вычисляется средний возраст деревьев.

Для проведения тестов, в основном агенте был добавлен элемент «Бегунок», с помощью которого можно манипулировать значением выпадающих осадков.

Проведенные с помощью модели эксперименты показывают, что хотя прирост популяции деревьев и не зависит напрямую от выпадающих осадков, при уменьшении или увеличении количества осадков, по сравнению с нормой, скорость прироста деревьев заметно снижается и прекращается совсем в случае, когда количество выпадающих осадков равняется нулю. Это объясняется тем, что количество выпадающих осадков оказывает влияние на влажность почвы, от чего прирост популяции уже зависит напрямую. Из этого можно сделать вывод, что агенты действительно взаимодействуют друг с другом независимо, оказывая влияние лишь на параметры и интерпретируя их значение.

Изображение проведённого эксперимента представлено на рисунке 4.

В результате проделанной работы, в среде AnyLogic была реализована агент-ориентированная модель лесной экосистемы. Данная модель позволяет получить представление о динамике развития элементов экосистемы, а также оценить степени влияния различных параметров на характеристики системы.

Дальнейшее развитие модели предполагает введение в нее новых агентов и настройку функции принадлежности механизма нечеткого вывода в моделях поведения агентов.

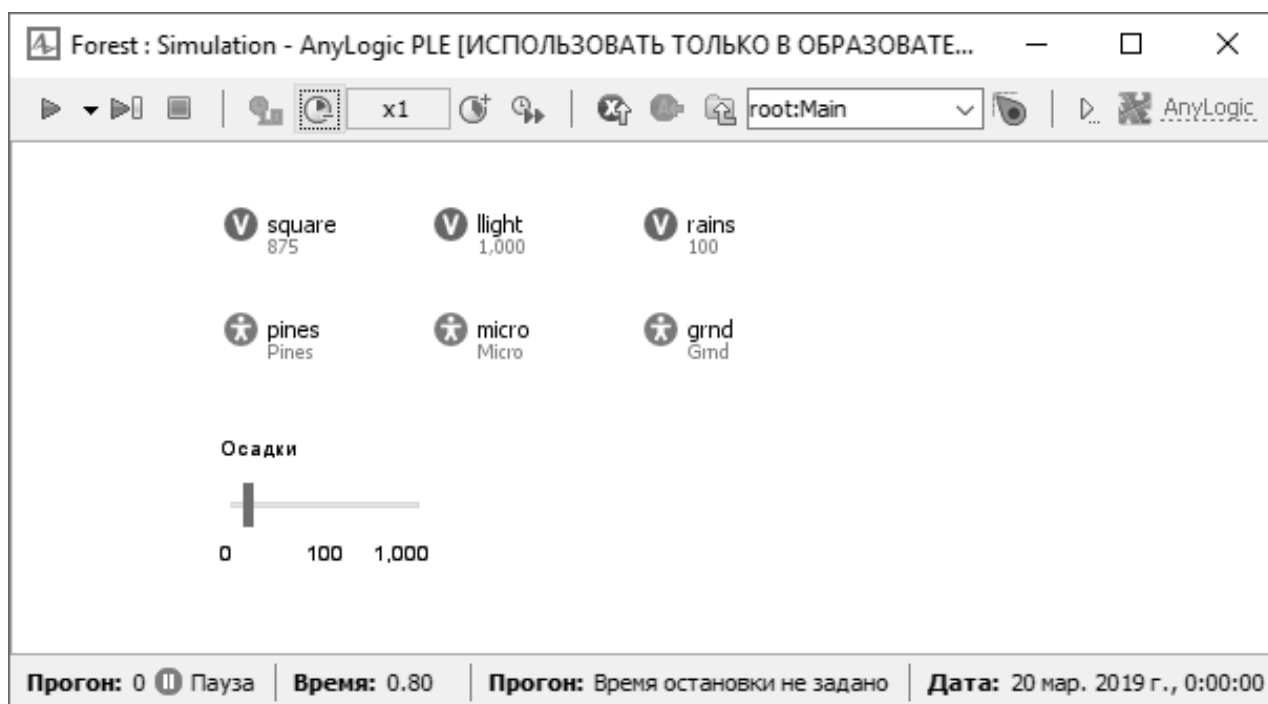


Рис. 4. Вид окна эксперимента

Литература

1. Дианов, С. В. Архитектура модели перспективного анализа и планирования развития регионального лесного комплекса / С. В. Дианов // Проблемы развития территорий. – 2017. – №5 (91). – С. 148–163.
2. Дианов, С. В. Модель биотопа как элемент агент-ориентированной модели регионального лесного комплекса / С. В. Дианов // Интеллектуально-информационные технологии и интеллектуальный бизнес (ИНФОС-2017) : материалы девятой междуна-
родной научно-технической конференции. – Вологда : ВоГУ, 2017. – С. 50–53.
3. Каталевский, Д. Ю. Основы имитационного моделирования и системного анализа в управлении : учебное пособие / Д. Ю. Каталевский. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Дело РАНХиГС, 2015. – 496 с.
4. Леоненков, А. В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH / А. В. Леоненков. – Санкт-Петербург : БХВ-Петербург, 2003. – 736 с.

A.N. Shvetsov, D.S. Dianov, S.V. Dianov

DEVELOPMENT OF AN AGENT-ORIENTED MODEL OF FOREST ECOSYSTEM

The paper proposes the development of an agent-based model of a forest ecosystem with the aim of predicting the growth dynamics of wood pulp. To describe the logic of the behavior of agents, it is proposed to use a fuzzy inference apparatus. A practical implementation of the model is presented.

Agent-based modeling, environmental system, fuzzy inference.



ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ПРОИЗВОДСТВА КАК РАСПРЕДЕЛЕННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

Показано, что интеллектуальные информационные системы могут иметь два варианта: автоматизация работающих производств (концепция – системный анализ); построение новой системы (концепция – киберфизическая система). В первом варианте основной процедурой является декомпозиция системы, во втором – интеграция элементов в работающую систему. Технологии создания систем в значительной степени совпадают. Существенные отличия имеются на этапе построения структуры системы. В любом варианте важнейшим вопросом является обеспечение обмена данными между элементами системы. В работе описаны имеющиеся методы обмена, разделенные на две группы: для одноранговой технологии и технологии клиент-сервер. Проведен детальный анализ методов обмена для систем, использующих технологию клиент-сервер. Описана программная реализация интеллектуальной производственной системы управления.

Интеллектуальная автоматизированная система, производство, киберфизическая, методы обмена информацией, прикладное описание, реализация.

Настоящая работа является продолжением и развитием публикации [1]. Интерес к интеллектуальным производственным системам появился еще в 90-е года прошлого века [2].

Следует отметить, что такие системы могут рассматриваться в двух вариантах (рис. 1):

- 1) автоматизация существующих систем с ручным управлением;
- 2) построение новых производственных систем.

До недавнего времени рассматривался преимущественно первый вариант [3, 4]. Строились они на концепции системного анализа. Его задача заключалась в структуризации (декомпозиции) системы, построении технологии математического описания и программной реализации (рис. 1). Автором была предложена методология структурно-алгоритмического моделирования [2]. Она позволила сформировать однородный метод математического описания системы, базирующийся на динамическом линейном программировании [1, 4].



Рис. 1. Технология построения производственных систем

В настоящее время проявляется все больший интерес ко второму варианту [5–7]. В ее основе лежит новая концепция, получившая название «киберфизическая система» (КФС).

Киберфизическая система (англ. cyber-physical system CPS) – информационно-технологическая концепция, подразумевающая интеграцию вычислительных ресурсов в физические сущности любого вида, включая биологические и рукотворные объекты [5]. КФС охватывает как технологические (КФТС), так и производственные (КФПС) процессы и потому находит все более широкое применение для построения цифровой экономики.

Первоначально КФС развивались для технологических процессов. Задача ставилась так: имеется некий технологический процесс; заданы элементы системы (датчики, базы данных, вычислительные элементы), которые необходимо связать (интегрировать) в функционирующую систему управления.

Выделяется частный случай таких систем – интернет вещей. «Вещи» не снабжены электронным выходом и его надо сформировать перед построением системы.

Одновременно в КФТС возникает проблема хранения и работы с большими объемами данных, обрабатываемых с высокой скоростью.

Позднее КФС распространились на производственные системы, когда необходимо построить систему с нуля [2, 6, 7].

Технология формирования таких систем представлена на рисунке 1. Она похожа на технологию процедуры автоматизации, однако имеет и отличия. Структура системы не выявляется, а формируется первоначально путем деления технологического процесса на части. Каждой из них сопоставляется элемент нижнего уровня управляющей части. Затем определяются элементы более высоких уровней управляющей части. Для формального описания элементов полученной структуры может использоваться однородный метод.

Этапы реализации вариантов систем также не имеют серьезных отличий.

Следует отметить, что системы обоих вариантов являются распределенными.

Постановка задачи. В то же время применение киберфизических систем сопряжено с сетевыми про-

блемами. В последнее время появилось значительное количество разновидностей реализации распределенных систем. В связи с этим следует провести анализ разновидностей, определить их возможности и сферы применения.

Решение задачи. Распределенная система – совокупность логически интегрированных и территориально распределенных элементов, языковых, программных и технических и организационных средств, предназначенных для формирования и хранения данных, обработки информации, выработки и реализации решений [8–14].

Теоретические положения

По объекту реализации классификация систем имеет вид, показанный на рисунке 2, а по прикладному объекту – на рисунке 3.



Рис. 2. Классификация по объекту реализации

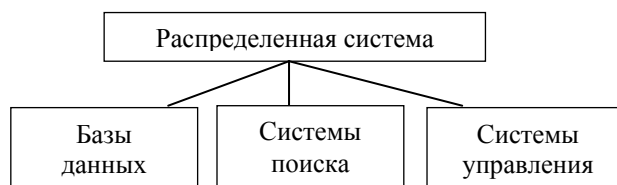


Рис. 3. Классификация по прикладному объекту

Тогда понятие «распределенная система» может быть представлено в виде схемы, показанной на рисунке 4.

Распределенная система обработки информации – совокупность технических средств и программного обеспечения, а также методов обработки информации и действий персонала, обеспечивающая выполнение автоматизированной обработки информации. Ее теоретической базой служат распределенные вычисления – раздел теории вычислительных систем, изучающий теорию организации распределенных систем.

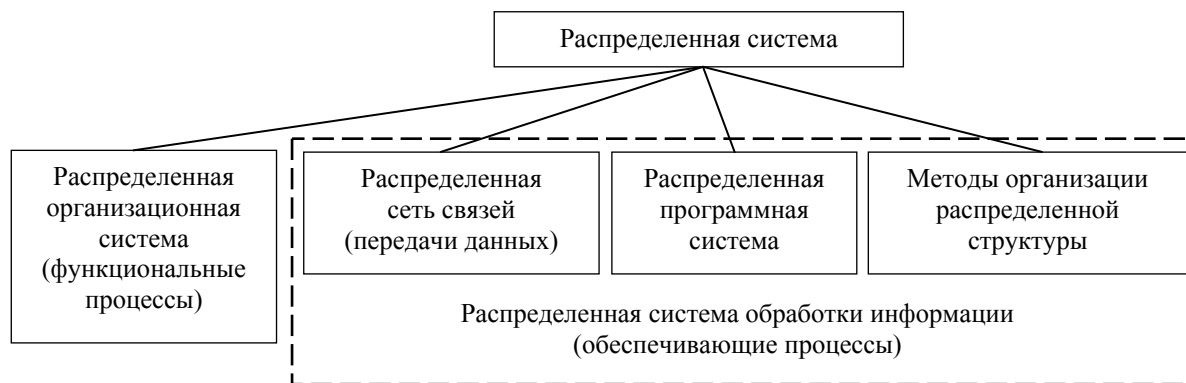


Рис. 4. Состав распределенной системы

Они являются разновидностью параллельных вычислений, предусматривающих разделение задачи на одновременно рассчитываемые подзадачи с целью максимального повышения скорости вычислений. В распределенных системах параллельные вычисления должны учитывать характеристики имеющихся вычислительных средств, возможную несинхронность вычислений и значительную временную задержку при обмене данными между узлами системы. Узлами могут быть компьютеры, процессоры, процессоры. В случае одного компьютера должна быть разделяемая память и разделение процессов (поток).

Распределенная организационная система – интерактивная автоматизированная система, используемая для различных видов деятельности при принятии решений (в том числе и многокритериальных) в ситуациях, когда невозможно или затруднительно иметь автоматическую систему из-за слабой структурированности или неструктурированности решаемых задач.

Прикладные вопросы

Существуют многочисленные способы обмена информацией, отличающиеся назначением и возможностями. Основными из них являются [14]:

- клиент-сервер;
- объектные системы;
- агентные технологии;
- компонентные системы;
- сервис-ориентированная архитектура;
- веб-сервисы;
- технологии одноранговых сетей;
- технологии Грид;
- облачные вычисления.

Сравнительные характеристики рассмотренных технологий приведены в таблице: видно, что здесь отражены технологии как с одноранговой архитектурой, так и архитектурой клиент-сервер.

Пять последних технологий достаточно сложны для локальных систем и более подходят для крупномасштабных глобальных поисковых одноранговых систем.

Таблица

Сравнительные характеристики технологий распределенной структуры

Способ	Достоинства	Недостатки
1	2	3
Web	Простота структуры	Сложность обеспечения безопасности данных. Применение в основном для поисковых систем
Модель «клиент-сервер»	Простота структуры. Возможность применения в системах управления	Трудность определения безопасности. Применение для систем относительно небольшой размерности. При росте количества клиентов повышаются требования к мощности сервера и пропускной способности канала. Устойчивая работа всех клиентов зависит от загрузки и функционирования одного сервера
Объектные системы	Простота разработки распределенных приложений в сравнении с клиент-серверным подходом. Возможность разработки приложений для гетерогенных вычислительных сред с помощью виртуальных машин и независимого описания интерфейсов взаимодействующих компонентов	Реализация удаленных вызовов гораздо сложнее реализации вызовов локальных процедур. Проблема передачи данных с адресного пространства с одной машины на другую. Неоднородность языков программирования и операционных сред: структуры данных и структуры вызова процедур. Строгая ограниченность данной технологии платформой Java. Ограниченность масштабируемости
Агентные технологии	Возможность доступа к разным точкам источника данных	Ряд серьезных проблем, с безопасностью агентных платформ. Трудности определяет принцип работы технологии: любой администратор вычислительной сети не позволит агентам путешествовать по компьютерам пользователей
Компонентные системы	Пригодность для разработки крупных систем. Простая быстрая процедура инсталляции. Увеличение доли повторного применения кода. Снижение стоимости программного обеспечения. Унификация обработки объектов различной природы. Процесс создания программного обеспечения меньше зависит от человека	Высокие требования при разработке компонент. Ограниченность технологии платформой Java

Сервис-ориентированная архитектура	Пригодность для разработки средних по размерам систем. Увеличение доли повторного применения кода. Снижение стоимости программного обеспечения. Унификация обработки сервисов различной природы	Недостаточная апробация программного обеспечения. Нет возможности работы с состояниями
Веб-сервисы	Пригодность для разработки средних по размерам систем. Увеличение доли повторного применения кода. Снижение стоимости программного обеспечения. Унификация обработки сервисов различной природы. Обеспечение безопасности данных	Достаточно сложная архитектура
Технологии одноранговых сетей	Упрощается поддержка масштабируемости при значительном росте количества узлов в вычислительной сети. Повышается отказоустойчивость сети. Возможность объединения ресурсов отдельных участников сети при возможности предоставления услуг другим участникам. Отсутствие зависимости от централизованных сервисов и ресурсов. Пригодность для систем с большим объемом данных и обменом информацией между пользователями	Рост требований к производительности каждого компьютера. Низкая степень защищенности машин из-за открытого доступа. Трудность учета гетерогенности аппаратного и программного обеспечения ее потенциальных участников. Сложность поиска доступных ресурсов без использования централизованной точки управления. Затруднения в опросах безопасности предоставления ресурсов в основном индивидуальным пользователям
Технологии Grid	Технологии Grid позволили объединить крупные комплексы обработки и хранения данных, используя следующие свойства: 1. Гетерогенность. 2. Масштабируемость. 3. Приспособляемость	Сложная инфраструктура, которую целесообразно применять для сверхбольших систем
Облачные вычисления	Сокращение в три-пять раз стоимости бизнес-приложений и более чем в пять раз стоимости приложений для конечных пользователей. Оплата по мере использования ресурса. Масштабируемость и гибкость. Высокий уровень загрузки оборудования и снижение затрат на его эксплуатацию	Сложности организации репликации данных между сервисами. Сложность администрирования в процедуре функционирования. Сложность архитектуры. Высокие риски в защите информации

Программная реализация

Иллюстрируем использование методов на примере интеллектуальной системы управления [1, 15].

Целью ее функционирования в общем случае является функционирование в традиционном (стационарном) и интеллектуальном (оперативный переход на выпуск новой продукции) режимах.

Структура распределенной организационной производственной системы представлена на рисунке 5.

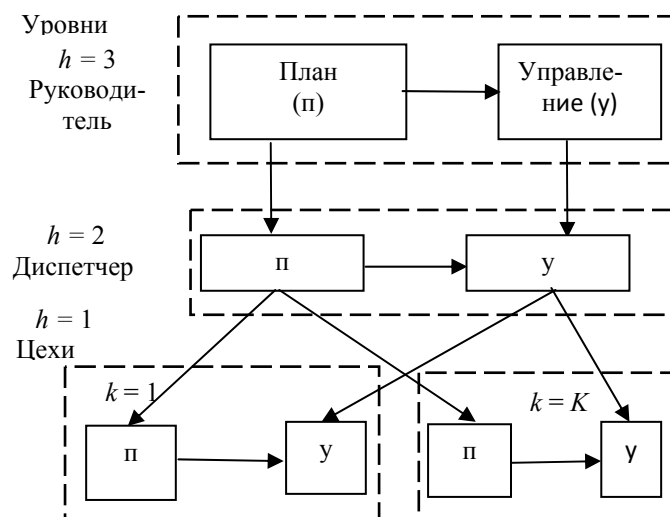


Рис. 5. Типичная структура трехуровневой системы

Детальное математическое описание иллюстрируемой системы дано в [1]. Для полноты картины в приложении приведено описание уровней диспетчера и руководителя в традиционном режиме.

К методам обмена информацией предъявим следующие требования:

1. Реализация режима клиент-сервер, что соответствует рисунку 5.
2. Согласование с базами данных (объектно-ориентированными, реляционными, NoSQL, например, SQLite) как хранилищами больших объемов информации.
3. Простота программной реализации.
4. Согласованность с языками программирования обработки данных, предпочтительно Java.

Первому требованию соответствуют пять первых способов (таблица).

Агентные технологии ограничены в применении в связи с потенциальным «шпионским» характером.

Определенный интерес представляют технологии клиент-сервер в объектно-ориентированном варианте. В то же время такая реализация часто связана с недостаточной размерностью СУБД. Объектные и компонентные системы, требуют формирования интерфейсов, что может оказаться непростой задачей. Предпочтительной представляется компонентная архитектура, более похожая на объектно-ориентированный вариант.

Схема примера приведена на рисунке 6. В качестве СУБД использовалась СУБД MySQL, сервера приложений – Apache. Работа клиентов осуществлялась на языке программирования Java.

Числовые данные получены с помощью генератора данных (язык Java), описанного в работе [1].

Приведем некоторые результаты работы модели системы.

Экранные формы для результатов решения задачи руководителя аналогичны формам на рисунке 7.

Приложение. Рассмотрим описание процесса планирования.

Уровень управления $h = 3$.

$$\mathbf{P}(T) \geq \mathbf{R}(T), \mathbf{P}(t_i) = \mathbf{P}(t_{i-1}) + \mathbf{p}(t_i), \quad (1)$$

$$\mathbf{z}(t_i) = \mathbf{A}\mathbf{z}(t_{i-1}) + \mathbf{B}\mathbf{p}_1(t_{i-1}), \mathbf{z}(0) = \mathbf{z}_0, \quad (2)$$

$$\mathbf{p}(t_i) = \mathbf{C}\mathbf{z}(t_i), \quad (3)$$

$$\mathbf{D}\mathbf{p}_1(t_i) \leq \mathbf{b}(t_{i-1}), \quad (4)$$

$$G(\mathbf{P}(T)) = \mathbf{F}\mathbf{P}(T) \rightarrow \max, \quad (5)$$

где \mathbf{z} , \mathbf{p} , \mathbf{P} – векторы незавершенного производства, планов текущего и с накоплением; \mathbf{p}_1 – вектор запуска комплекта материалов в производство; \mathbf{R} – вектор спроса; \mathbf{D} – матрица норм расходов; \mathbf{b} – вектор имеющегося количества ресурсов; \mathbf{F} – вектор прибыли от выпуска единицы продукции; \mathbf{A} , \mathbf{B} , \mathbf{C} – матрицы соответствующих размерностей; T , $t_i = iv$ – интервалы времени; $i = 1, N$; $T = Nv$.

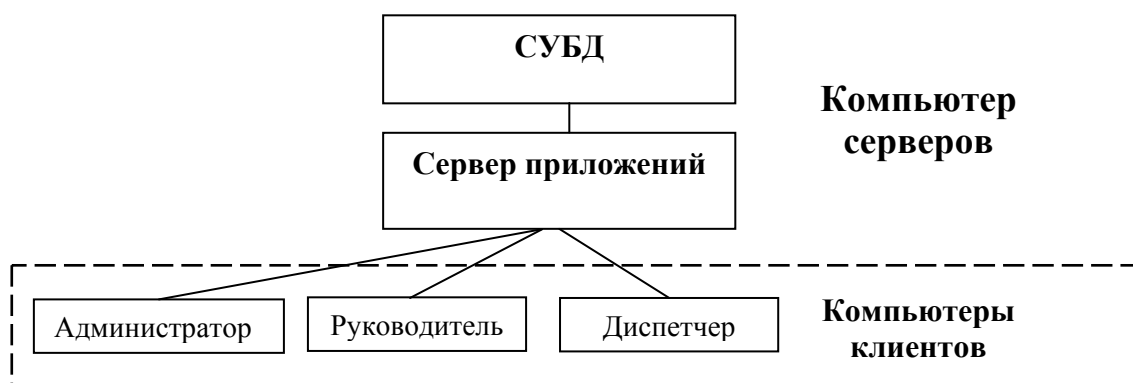


Рис. 6. Схема примера компьютерной реализации

Назад к выбору расчета									
out_3_4_date-12-11									
M	N	C, CX	DN	DV	BN	BV	Матрица A	План	
4	4	0, 2, 2, 2, 2	512, 512, 512, 512	512, 512, 512, 512	8192, 8192, 8192, 8192	8192, 8192, 8192, 8192	4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4	2048, 0, 0, 0	
Решить									

Рис. 7. Информация о конкретной задаче диспетчера

Уровень управления $h = 1$.

$$\mathbf{z}_k(t_i) = \mathbf{A}_k \mathbf{z}_k(t_{i-1}) + \mathbf{B}_k \mathbf{p}_{1k}(t_{i-1}), \mathbf{z}_k(0) = \mathbf{z}_{k0}, \quad (6)$$

$$\mathbf{p}_k(t_i) = \mathbf{C}_k \mathbf{z}_k(t_i), \quad (7)$$

$$\sum_{i=0}^{N-1} \mathbf{D}_1^m \mathbf{p}_{1k}(t_i) \leq \mathbf{b}^m(0), \quad (8)$$

$$\sum_{i=0}^{N-1} \mathbf{p}_k(t_i) < \mathbf{P}(T), \quad (9)$$

$$\mathbf{D}_k^\psi \mathbf{p}_{1k}(t_i) \leq \mathbf{b}_k^\psi(t_i), \quad (10)$$

$$\mathbf{D}_k^m \mathbf{p}_{1k}(t_i) \leq \mathbf{b}_k^m(t_i), \quad (11)$$

$$\mathbf{b}_k^\psi(t_i) = \mathbf{b}_k^\psi(t_{i-1}) + \Delta \mathbf{b}_k^\psi(t_{i-1}), \quad (12)$$

$$G_k(\mathbf{p}_k(t_i)) = \mathbf{F}_k \mathbf{p}_k(T) \rightarrow \max, \quad (13)$$

$$i=0, N-1, t_i = iv, t_0 = 0, T = Nv,$$

где \mathbf{z} , \mathbf{p} – вектор-столбцы (планового) незавершенного производства и ежедневного плана; \mathbf{p}_1 – вектор-столбец запуска комплектов ресурсов в производство; \mathbf{R} – вектор-столбец спроса; \mathbf{D} – матрица норм расходов ресурсов; \mathbf{b} – вектор-столбец наличного количества ресурсов; $\mathbf{b}^m(0)$ – вектор количества материальных ресурсов, которыми располагает уровень $h=3$; $\Delta \mathbf{b}$ – вектор поступления ресурсов; \mathbf{P} – вектор-столбец плана уровня $h=3$; \mathbf{F} – вектор-строка прибыли от выпуска единицы продукции; \mathbf{A} , \mathbf{B} , \mathbf{C} – матрицы, отражающие динамику процесса планирования; t_i , T – минимальный интервал времени и время моделирования; $m = 1$, M – виды материальных ресурсов; $\psi = 1$, Ψ – виды прочих ресурсов; $i = 1$, N – моменты времени; $k = 1$, k – номер подразделения.

Уровень управления $h = 2$.

Выражения (11), (13) в описании уровня $h=1$ заменяются на выражения (14), (15)

$$\mathbf{D}_k^m \mathbf{p}_{1k}(t_i) \leq \mathbf{p}_{1,k-1}^m(t_{i-1}), \quad (14)$$

$$\sum_{i=1}^N G_k(\mathbf{p}_k(t_i)) \rightarrow \max. \quad (15)$$

Одним из эффективных направлений решения проблемы цифровой экономики является построение интеллектуальных автоматизированных производственных систем управления.

Если ранее акцент делался на автоматизации существующих систем управления, работающих в ручном режиме, то сейчас все большее внимание обращают на создание новых систем.

В последнем случае в качестве концепции используют киберфизические системы (КФС). КФС предполагает не декомпозицию системы, как в случае автоматизации, а интеграцию отдельных элементов в функционирующую систему.

Технологии построения обеих разновидностей систем в значительной степени похожи. Отличия имеются в рамках определения структуры (соответственно идентификация и проектирование). В обеих разновидностях таких распределенных систем важнейшим моментом является обмен информацией. Рассмотрены методы обмена как для одноранговых систем, так и систем, использующих технологию клиент-

сервер. Сформулированы требования к методам обмена и проведен их анализ. На его основе построен прикладной пример.

Отметим, что полученные автором результаты хорошо укладываются в качестве начального инструментария при решении проблемы цифровой экономики [11] в рамках «INDUSTRIE 4.0».

Литература

1. Чертовской В. Д. Формирование описания адаптивной автоматизированной системы управления производством // Вестник Вологодского государственного университета. Серия: физико-математические, технические науки, науки о земле 2018, № 1. – С. 57–63.
2. Введение в теорию интегрированных САПР гибких технологий производств / Ю. М. Соломенцев, В. Я. Польшкалин, В. Д. Чертовской. Под общ ред Ю. М. Соломенцева. Москва : Машиностроение, 1991. – 592 с.
3. Чертовской В. Д. Основы теории адаптивных автоматизированных систем управления производством // Труды Всероссийского совещания по проблемам управления (ВСПУ-2019, Совещание). Москва : ИПУ, 2019, 17–20 июня. – С. 2676–2679.
4. Чертовской В. Д. Моделирование процессов адаптивного автоматизированного управления производством. Санкт-Петербург : Лань, 2019. – 216 с.
5. Фрадков А. Л. Кибернетическая физика: принципы и примеры. Санкт-Петербург : Наука, 2003. – 208 с.
6. INDUSTRIE 4.0 - умное производство будущего (Государственная Hi Tech Стратегия 2020, Германия) URL: http://json.tv/tech_trend_find/industrie-40-umnoproizvodstvo-buduschego-gosudarstvennaya-hi-tech-strategiya-2020-germaniya-20160227025801 (дата обращения: 26.11.2019. – Текст : электронный.
7. Ястреб Н. А. Индустрия 4.0: киберфизические системы, разумное окружение, Интернет вещей // Сборник научных статей. Вологда: ВоГУ, 2015. – Выпуск 2. – С. 136–143.
8. Таненбаум Э., ван Стеен М. Распределенные системы. Санкт-Петербург : Питер, 2003. – 877 с.
9. Шичкина Ю. А. Методы построения схемы и выполнения запросов в базах данных. Санкт-Петербург : Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2016. – 206 с.
10. Радченко Г. И. Распределенные вычислительные системы / Г. И. Радченко. – Челябинск : Фотодожник, 2012. – 184 с.
11. Лычев А. В. Распределенные автоматизированные системы. – Петродворец: изд-во ВМИРЭ, 2007. – 249 с.
12. Чертовской В. Д. Архитектура ЭВМ и систем: основы теории. Санкт-Петербург, СПГУВК, 2011. – 307 с.
13. Косяков М. С. Введение в распределенные вычисления. Санкт-Петербург : НИУ ИТМО, 2014.
14. Карпов Л. Е. Архитектура распределенных систем программного обеспечения. Москва : МАКС Пресс, 2007. – 130 с.
15. Чертовской В. Д. Моделирование процессов адаптивного автоматизированного управления производством. Санкт-Петербург : Лань, 2019. – 216 с.

V.D. Chertovskoy

**INTELLIGENT MANUFACTURING AS
DISTRIBUTED CONTROL SYSTEMS**

It is shown that intelligent information systems can have two options: automation of operating industries (the concept - system analysis); building a new system (the concept - cyberphysical system). In the first version the main procedure is system decomposition, in the second - integration of elements into the operating system. Systems technologies are mostly the same. Significant differences appear during the phase of system structure formation. In any case, the most important issue is to ensure the exchange of data between the elements of the system. The paper describes the available methods of exchange divided into two groups: for peer-to-peer technology and client-server technology. Detailed analysis of the exchange methods for systems using client-server technology has been carried out. Program implementation of manufacturing control system is described.

Intelligent automated system, manufacturing, cyberphysical, methods of information exchange, applied description, implementation.



В.А. Куницкий, С.В. Лукин
Вологодский государственный университет

СПОСОБ ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ С УТИЛИЗАЦИЕЙ ТЕПЛОТЫ ВОДЫ, СЛИВАЕМОЙ ИЗ ДУШЕВЫХ УСТРОЙСТВ

В статье представлена информация о разработке способа утилизации теплоты воды, сливаемой из душевых устройств. В качестве такого способа выбрано использование теплообменного аппарата, спроектированного конкретно для данных условий и задач. Описан процесс разработки теплообменного аппарата, имеется его схематичное изображение. Теплообменный аппарат воплощен в физическом виде и экспериментально опробован. Представлены результаты эксперимента и основные формулы для расчёта характеристик теплообменного аппарата.

Теплообменный аппарат, утилизация теплоты, энергоэффективность.

В России активно развивается сфера индивидуального жилищного строительства. Многие граждане делают выбор в пользу проживания в собственном доме, а не в многоквартирном. Но большая часть земельных участков, выбранных для строительства частных домов, находится относительно далеко от инженерных сетей, обеспечивающих население энергетическими ресурсами и коммунальными благами: газопроводов, централизованных систем водоснабжения и отопления. В данных условиях собственнику земельного участка приходится самостоятельно оплачивать подведение коммуникаций к земельному участку.

Электрическая энергия – это единственный энергоресурс, экономически и физически доступный в подобных ситуациях. В связи с этим появился запрос на решение задачи о проектировании дома, все инженерные сети которого будут потреблять в качестве энергоресурса только электрическую энергию. Для успешной работы по данной теме необходимо найти новые способы исполнения инженерных сетей внутри дома или модернизировать уже известные решения.

Предполагается, что в проектируемом доме вода, предназначенная для принятия душа, будет нагреваться в проточном электрическом водонагревателе. Необходимо найти способ максимально сократить потребление электрической энергии, идущей на нагрев воды при принятии душа. Как известно, горячая вода после принятия душа удаляется в канализацию и теплота, которой вода обладает, никак не используется.

Поэтому актуальной задачей является разработка способа утилизации теплоты горячей воды, отводимой в канализацию от душевых установок. Целью данной статьи является разработка такого способа с целью экономии электрической энергии, идущей на нагрев воды для принятия душа.

Задачи работы:

- разработка и проектирование устройства для утилизации теплоты;

- создание устройства для утилизации теплоты;
- экспериментальное испытание устройства для утилизации теплоты;
- оптимизация устройства для утилизации теплоты.

В качестве способа утилизации теплоты предлагается использовать теплообменный аппарат (ТОА). Трудность в использовании заводских экземпляров ТОА заключается в том, что объёмы воды и специфика работы (канализационная вода удаляется безнапорным способом) не подходят ни к одному существующему образцу. В связи с этим обстоятельством необходимо самостоятельно разработать ТОА, подходящий конкретно для данной задачи.

Принципиальная схема душевой после модернизации представлена на рисунке 1, где 1 – это теплообменный аппарат, 2 – электрический проточный водонагреватель, 3 – душ, t – это температуры греющей и нагреваемой сред на входе в ТОА и на выходе из ТОА.

На основе анализа поставленной задачи были приняты следующие конструктивные решения при проектировании ТОА:

1. ТОА исполнить в виде закрытой ёмкости, включенной в канализационную сеть. Отверстия для входа и выхода канализационной воды расположить на одном высотном уровне. Расположить ёмкость горизонтально и предусмотреть люк для обслуживания ТОА в случае необходимости.

2. Внутри ТОА расположить участок трубы с водой, находящийся перед проточным электрическим водонагревателем. Участок водопровода, находящийся внутри ТОА, исполнить из оребренной трубы, сделанной из нержавеющей стали. Труба должна быть погружена полностью в воду внутри ТОА.

3. Минимизировать объём канализационной воды внутри ТОА при максимизировании площади теплообмена (площади водопроводной трубы, находящейся внутри ТОА).

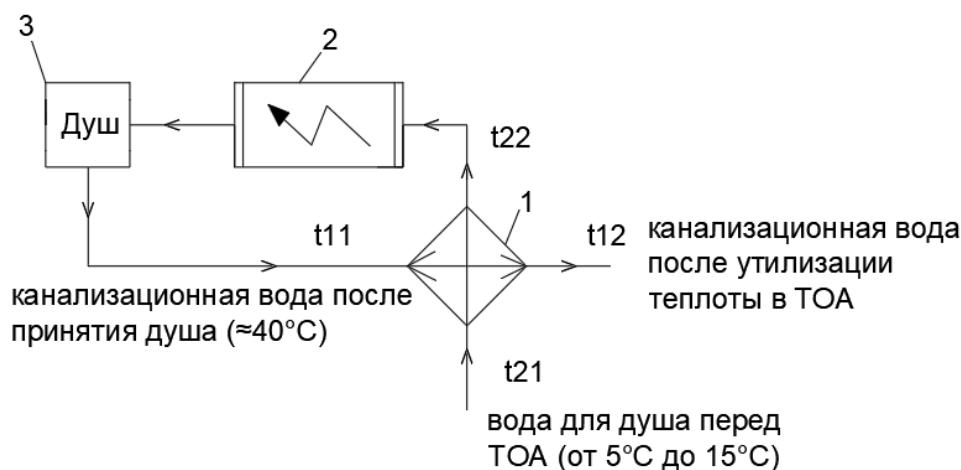


Рис. 1. Принципиальная схема душевой с использованием ТОА для утилизации теплоты горячей воды, удаляемой в канализацию

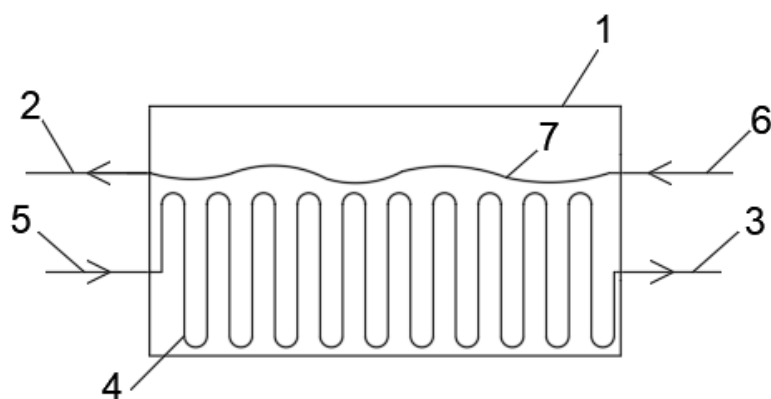


Рис. 2. Схематичное изображение теплообменного аппарата, разработанного для утилизации теплоты горячей воды, удаляемой в канализацию

Схематичное изображение разработанного ТОА представлено на рисунке 2, где 1 – корпус ТОА (пластиковый контейнер), 2 – канализационная труба, удаляющая греющую воду из ТОА, 3 – водопроводная труба, подающая нагретую в ТОА воду в проточный водонагреватель, 4 – участок водопровода, находящийся внутри ТОА (трубы из нержавеющей стали, полностью погруженные в греющую воду), 5 – водопроводная труба, подающая нагреваемую воду в ТОА, 6 – канализационная труба, подающая греющую воду в ТОА, 7 – уровень греющей воды в ТОА (изображен волнистой линией и совпадает с высотой, на которой расположено отверстие для удаления греющей воды).

Чтобы проверить работоспособность данного ТОА, необходимо воплотить его в физическом виде и провести экспериментальное испытание, так как некоторые характеристики (коэффициенты теплоотдачи сред) не могут быть определены расчетным путем. Для проведения эксперимента были выбраны и куплены все необходимые материалы. Корпус ТОА изготовлен из пластикового контейнера, в котором проделаны отверстия для подвода труб. Для исполнения участка водопровода внутри ТОА выбраны специальные трубы из нержавеющей стали, предназначенные для прокладки «тёплого» пола. Все нужные технические характеристики труб были получены у производителя.

Для расчета мощности ТОА были использованы следующие формулы [1]:

$$Q = G(h''_2 - h'_2), \text{ Вт}, \quad (1)$$

где G – расход внутри водопроводной трубы, $\frac{\text{кг}}{\text{с}}$; h''_2 и h'_2 – энтальпии воды на выходе из ТОА и на входе в ТОА соответственно, кДж/кг ; Q – количество теплоты, передающееся в единицу времени одному килограмму воды, Вт ,

$$Q = k(t_1 - t_2)F, \text{ Вт}, \quad (2)$$

где Q – количество теплоты, передающееся в единицу времени одному килограмму воды, Вт ; $(t_1 - t_2)$ – средний логарифмический температурный напор [1], $^\circ\text{C}$; F – площадь теплообмена, м^2 ; k – коэффициент теплопередачи, $\text{Вт/м}^2 \times \text{K}$.

Коэффициент теплопередачи определялся по формуле [2]:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}}, \text{ Вт/м}^2 \times \text{K}, \quad (3)$$

где α_1 и α_2 – это коэффициенты теплоотдачи для греющей среды (вода снаружи труб) и нагреваемой среды (движущаяся вода внутри трубы), $\text{Вт/м}^2 \times \text{K}$; δ – толщина стенки трубы из нержавеющей стали, м ;

Экспериментально полученные характеристики ТОА при разных длинах участка водопровода внутри ТОА

Характеристика ТОА	Значение					
	L, м	0	3	6	9	12
$t''_2, ^\circ\text{C}$	14	19	23	27	29,5	30
$k, \text{Вт/м}^2 \times \text{К}$	-	330	323	362,3	344,1	299,13

λ – коэффициент теплопроводности для нержавеющей стали (получен по запросу у производителя труб), $\text{Вт/м}\times\text{К}$.

Экспериментальным путем определён расход воды в трубе и получен критерий Рейнольдса $Re = 6600$. На основе имеющихся данных о потоке воды внутри водопровода получен коэффициент теплопередачи k .

Испытание ТОА проходило в ванной комнате многоквартирного жилого дома с использованием сетей внутридомового водоснабжения. В эксперименте в качестве греющей среды использовалась вода с температурой 40°C как оптимальная для принятия душа с комфортом среднестатистическим человеком. Нагреваемая вода имела температуру 14°C , а расход внутри трубы составлял $0,13 \text{ кг/с}$. Использовалось 15 м трубы с оребрением диаметром $0,021 \text{ м}$. Площадь теплообмена при данных условиях составила $1,725 \text{ м}^2$. Греющая среда передавала теплоту нагреваемому участку трубы свободной конвекцией. Данный вывод был сделан исходя из визуального анализа характера движения воды внутри ёмкости.

Благодаря тому, что в эксперименте используется труба, состоящая из нескольких элементов, имеется возможность изменять длину участка водопровода внутри ТОА и получать данные о температуре воды внутри трубы в некоторых точках и мощности всего теплообменного аппарата. Следовательно, имеется возможность определить коэффициент теплопередачи k для разной длины участка трубы, находящегося внутри ТОА.

Данные эксперимента представлены в таблице, где L – длина водопроводной трубы из нержавеющей стали, находящейся внутри ТОА, t''_2 – температура воды на выходе из ТОА при разных значениях длины участка водопроводной трубы внутри ТОА, k – коэффициент теплопередачи для разной длины участка водопроводной трубы.

Коэффициент теплопередачи k при изменении длины участка водопроводной трубы внутри ТОА остаётся практически одинаковым. Отметим, что оптимальной длиной трубы при данных условиях греющей и нагреваемой сред является длина $L = 12 \text{ м}$, так как увеличение длины участка трубы с 12 до 15 метров приводит к повышению температуры воды на выходе из ТОА всего лишь на $0,5^\circ\text{C}$. В рамках нашей работы примем данное увеличение температуры невыгодным по сравнению с затраченными на него материальными ресурсами.

Используя формулы 1 и 2, была определена мощность ТОА в данной конфигурации (длина участка водопровода внутри ТОА – 15 м), которая составила 8690 Вт . На рисунке 3 представлен график, построенный по данным из таблицы. Данный график показывает значение температуры воды на выходе из ТОА в зависимости от длины участка трубы, находящегося внутри ТОА, при постоянной температуре греющей среды (штриховая линия). Обратим внимание на то, что точное значение температуры нагреваемой воды известно только в определённых точках ($0; 3; 6; 9; 12; 15 \text{ м}$), соответствующих длине участка трубы внутри ТОА. Между этими точками (внутри отрезков трубы) истинные температуры воды неизвестны. График на рисунке 3 построен с предположением о том, что температура воды изменяется равномерно внутри участка водопровода и является аппроксимированным графиком истинного изменения температуры воды, нагреваемой в ТОА.

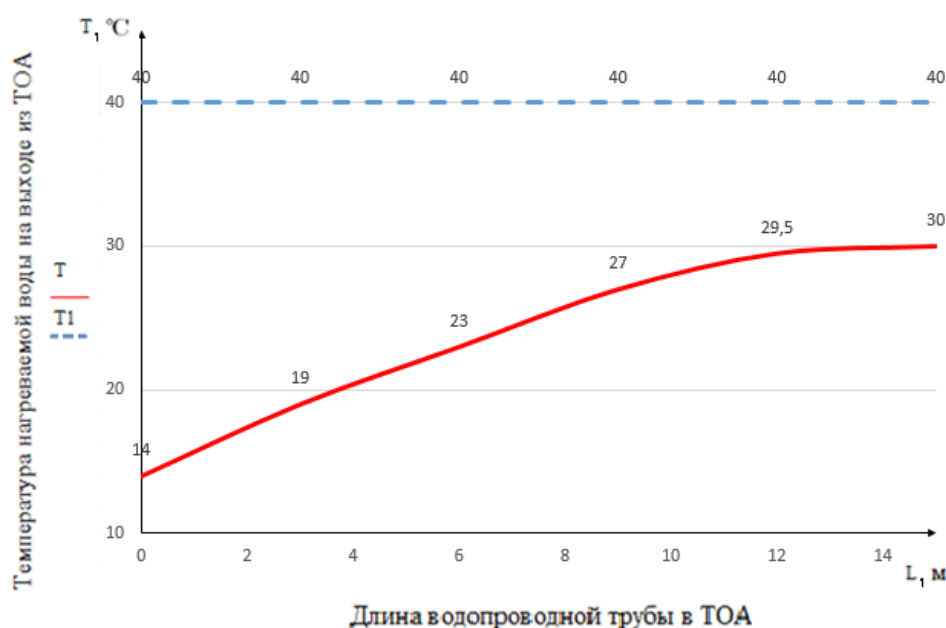


Рис. 3. Зависимость температуры нагреваемой воды на выходе из ТОА от длины водопроводной трубы, находящейся внутри ТОА (сплошная линия)

Стоит заметить, что при реальных условиях мы будем наблюдать три «стадии» работы ТООА:

1. В первые мгновения принятия душа греющая среда внутри ТООА будет иметь температуру, равную температуре воздуха в ванной комнате (26 °С [3]), так как вода остынет до температуры окружающей среды.

2. Далее греющая среда будет менять свою температуру от 26 °С до расчетной температуры 40 °С, нагреваясь от поступающей воды из душа.

3. На третьей стадии работы ТООА греющая среда будет иметь «рабочую» температуру 40 °С.

Именно наличие данных «стадий» в работе ТООА требует минимизирования объёма воды внутри ТООА для наискорейшего достижения значения «рабочей» температуры греющей среды (40 °С). Объём воды внутри ТООА зависит от объёма, который занимает участок водопровода, находящийся внутри ТООА. Именно поэтому важно расположить трубу компактно.

Можно сделать вывод, что способ утилизации теплоты горячей воды, отводимой в канализацию от душевых установок, разработан. Дальнейшие перспективы данной работы заключаются в оптимизации теплообменной установки: поиске оптимальных размеров ТООА, поиске оптимальной площади теплообмена.

Литература

1. Исаченко, В. П. Теплопередача / Исаченко В. П., Осипова В. А., Сукомел А. С. – Изд. 3-е. – Москва : Энергия, 1975. – 488 с.

2. Михеев, М. А., Михеева И.М. Основы теплопередачи / М. А. Михеев, И. М. Михеева. – Изд 2-е. – Москва : Энергия, 1977. – 344 с.

3. ГОСТ 30494-2011. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях : введен 01.01.2013. – Москва : Стандартинформ, 2013. – 12 с.

V.A. Kunitskiy, S.V. Lukin

WAYS OF DECENTRALIZED HOT WATER SUPPLY WITH RECOVERY OF DRAINED WATER HEAT

The article provides information on the development of methods for recovery of the heat of water drained from shower devices. For this method, the use of a heat exchanger designed specifically for these conditions and tasks is selected. The process of developing a heat exchanger is described; there is a schematic representation of it. The heat exchanger is embodied in physical form and experimentally tested. The results of experimental and basic formulas for calculating the characteristics of a heat exchanger are presented.

Heat exchanger, heat recovery, energy efficiency.



Е.М. Никитина
Вологодский государственный университет

РЕГИОНАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ КАМЕННОЙ ЖИЛОЙ АРХИТЕКТУРЫ ИСТОРИЧЕСКОГО ПОСЕЛЕНИЯ «ГОРОД ЧЕРЕПОВЕЦ»

В рамках этой статьи представлены некоторые результаты изучения городской застройки и утвержденного перечня объектов культурного наследия и исторически ценных градоформирующих объектов исторического поселения «Город Череповец». Автором были выявлены, систематизированы и описаны объекты, их объемно-пространственная композиция и архитектурный декор, наиболее характерные и часто применяемые в жилой каменной застройке XIX – начала XX вв. для использования в качестве аналогов для индивидуального жилищного строительства в историческом центре.

Историческое поселение, «образцовые» фасады, архитектурные детали, историческая застройка, предмет охраны исторического поселения.

Город Череповец был образован по указу императрицы Екатерины II в 1777 году на территории сел Федосьево, Никольское и монастырской слободы с их еще свободной средневековой планировкой. Через пять лет, в 1782 году, в соответствии с екатерининским указом (1763 г.) «О сделании всем городам, их строениям и улицам специальных планов по каждой губернии особо» Череповец получил план, прочерченный по принципу разумного «регулярства», с геометрически правильной прямоугольной сеткой улиц и вместе с ним особые требования к застройке. Регламентировалась ширина улиц, высота и протяженность зданий, строительство по образцовым фасадам из альбомов «типовых проектов», которые выпускались в XVIII–XIX вв. (рис. 1).

Обязательным условием было требование постановки дома по красной линии улицы. Для сокращения длины улиц и рационального использования городской территории дома должны были быть поставленными вплотную друг к другу, но брандмауэрная двухэтажная застройка «сплошной фасадой» так и не сформировалась в Череповце. Первое каменное жилое здание появилось в 1807 году, к началу 1840-х годов их было всего 6 домов (подавляющее число жилых зданий в городе – деревянные или полукаменные) [4]. Для остальной, деревянной, застройки тре-

бовались противопожарные разрывы – на центральных улицах совсем небольшие из-за дороговизны участков, выходящих на красные линии. Впоследствии при замещении деревянных зданий каменными осталась разреженная усадебная застройка.

Эти градостроительные особенности делают центральные улицы Череповца удивительно комфортными, сомасштабными человеку: со спокойным ритмом прозоров между зданиями, с очень пластичной, рельефной застройкой вдоль улиц, поскольку видны не только уличные фасады, но и, частично, над оградами, – боковые, которые также активно участвуют в формировании облика дома. «Скомпонованные по этому принципу здания по-разному воспринимаются в различных ракурсах, что отвечает столь желанному разнообразию» [5]. Такая структура отличает их от улиц коридорного типа «сплошной фасадой». К сожалению, на Советском (бывшем Воскресенском) проспекте, улице Ленина (бывшей Крестовской улице) с течением времени интервалы кое-где заполнялись поздними пристройками (например, таким способом, как на рисунке 2). Часто здания расширялись до границ участка, а агрессивная застройка XX века пятиэтажками исказила общую картину исторического центра.

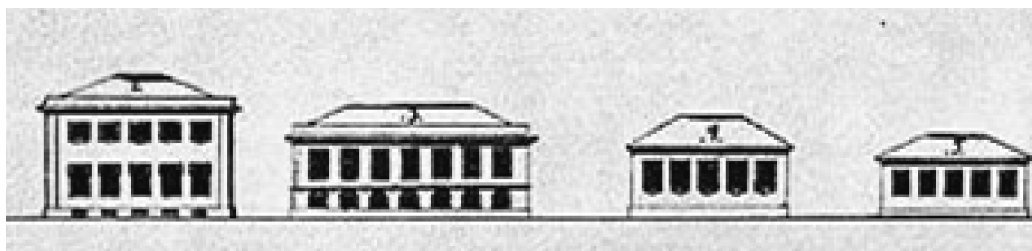


Рис. 1. «Образцовые» фасады для застройки Череповца. Кон. XVIII в. [4]



Рис. 2. Дом купца и церковного старосты Г.П. Крохина, 1880 г., улица Ленина, д. 39

Принципы «регулярства» екатерининского плана предполагали еще и единый классицистический стиль для всего города, но активное каменное строительство в Череповце развернулось во второй половине XIX века, когда перестала господствовать нормативность и строгость классицизма. Последняя серия «высочайше апробированных» образцовых фасадов для городских «обывательских домов» вышла в 1853–1856 годах, в ней фасады сохраняют присущие классицизму принципы и пропорции, но уже отмечены сильным влиянием эклектики. А с 1858 года применение образцовых фасадов в российских городах стало необязательным, появилась возможность более свободно использовать всевозможные архитектурные формы – в «современном вкусе», адаптируя «образцы» к местным условиям и возможностям. Но поскольку, во-первых, типовое строительство было дешевле и доступнее, чем индивидуальное, во-вторых, из-за недостатка квалифицированных архитекторов в провинции, а главное – по инерции, застройщики обращались к старым сериям фасадов и сложившимся в городе традициям повторности и типизации городской застройки, допуская творческие вариации на тему нескольких образцовых фасадов в одном здании. Все собрания образцовых фасадов XIX века «для обывательских

домов» носили рекомендательный характер, допускалось внесение изменений в базовый образец.

Разнообразие вносят пропорции окон, наличие или отсутствие входных проемов на главном фасаде, колористическая палитра. На фасадах применены архитектурные приемы, выразительные детали, характерные для позднего классицизма и эклектики XIX – начала XX вв. В середине XIX века разбогатевшее мещанско-купеческое сословие, активно застраивающее центральные улицы, предпочитало эклектику с обильной фасадной декорацией, отражающей «важность купеческого благополучия» [2]. Застройщики зачастую использовали в своих домах функциональное деление по этажам: на первом – торговые лавки, на втором – жилые помещения. Это проявилось в появлении дверных проемов и больших витринных окон на первом этаже в композиции главного фасада.

Следует отметить отсутствие на фасадах жилых зданий ордерных композиций – колонных или пилястровых портиков. Обычно применялись плоские, с филенками или рустованные лопатки (как исключение: дом Высоцкого с каннелированными пилястрами по углам; входная пристройка дома Волковых, фланкированная многослойной композицией пилястр (рис. 3)).



Рис. 3. а) Дом Высоцкого, Советский проспект, 19;
б) Входная пристройка дома Волковых, Советский проспект, 21

Не привились в Череповце и элементы «русско-византийского» стиля, распространившегося в архитектуре русской провинции в середине XIX столетия. Краснокирпичный стиль, ставший визитной карточкой исторического поселения «Город Череповец», редко применялся для жилой частной архитектуры – в основном, это общественные, служебно-хозяйственные и коммерческие здания. Несколько жилых домов на Советском проспекте выполнены с деталями краснокирпичного стиля: № 58 (1887 г.), № 60 (1903 г.) с большими витринными окнами магазинов на первом этаже, этим функциональным наполнением и объясняется выбор стиля. В композиции дома № 7 (1897 г.) по Советскому проспекту с кирпичными фасадами преобладает неоклассицистическое начало – треугольный фронто́н, плоские лопатки, сандрики над окнами. От кирпичного стиля в нем – обрамление окна во фронтоне и, собственно, голые кирпичные стены (судя по архивным фотографиям, здание было оштукатурено после 1940-х годов и выкрашено в традициях классицизма: на фасадах цвета охры выделены белые детали). Не все неоштукатуренные здания можно отнести к кирпичному стилю, в свою очередь, среди некоторых оштукатуренных угадываются его композиция и детали.

Застройка центральных улиц Череповца весьма единообразна по своему объемно-пространственному решению. Очевидно, они застроены по образцовым проектам XIX века, которые рассылались Комиссией каменного строения по всей России. Наиболее распространенный в центре города тип объемно-пространственной композиции исторических объектов – двухэтажное каменное здание, прямоугольное в плане. Среди сохранившихся до нашего времени и вошедших в перечень объектов культурного наследия 22 объекта имеют композицию в 5 оконных осей по главному фасаду, преимущественно с симметричной композицией. Несмотря на то, что эти здания в процентном отношении составляют большинство, например, на Советском (бывшем Воскресенском) проспекте, они не производят впечатления монотонности. Напротив, это удивительно гармоничный, целостный, стилистически единый ансамбль богатого провинциального города. В этом ансамбле мощным акцентом выделяется группа общественных зданий в краснокирпичном стиле, построенная в начале XX века по инициативе городского головы Ивана Андреевича Милютина, служившего в должности городского головы с 1861 до 1907 года, на месте восьмигранной торговой площади – в переулках «Криули».

На рисунках 2, 3 проиллюстрирован опыт применения рекомендованных проектов из «Собрания фасадов, Его Императорским Величеством Высочайше апробованных для частных строений в городах Российской Империи» в течение века. «Они дают интересный пример подхода безвестных зодчих к «образцовым» планам и фасадам в период массового каменного строительства в провинциальных городах, показывая, как достаточно свободно интерпретировали они один и тот же образец, сохраняя при этом специфический архитектурный образ» [4] (рис. 4).

Город Череповец начала XX века был, по словам Е.Е. Шулятиковой (историка-градостроителя, изучавшего город в конце XX века), «не совсем обычным уездным городом. Архитектурный стиль, прямизна улиц, четкость линий, чистота, а также обилие учебных заведений напоминали скорее город европейский, нежели русский. Эти особенности облика города сохранились практически до 1950-х годов» [6].

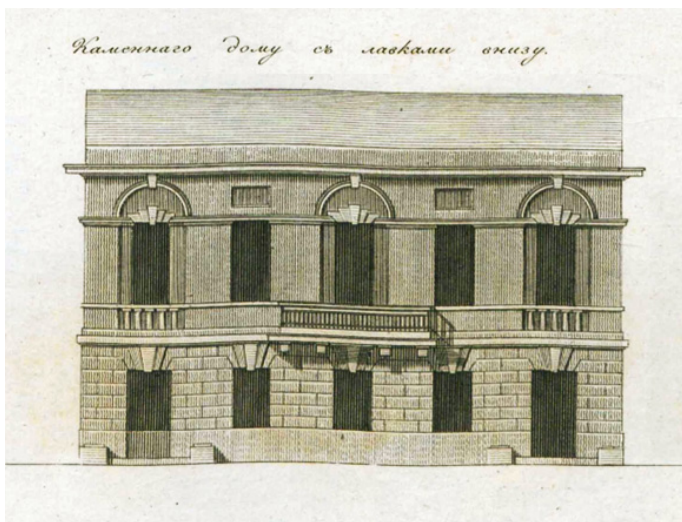
Для сохранения статуса исторического поселения «город Череповец» в соответствии с проектом зон охраны и предметом охраны исторического поселения [3] здания, вновь возводимые на незастроенных участках в пределах кварталов исторического ядра, должны носить строго контекстуальный характер. Это значит – максимально соответствовать историческим аналогам, не нарушать архитектурный облик сложившейся застройки: ее масштаб, габариты, пропорции, материал и декоративное убранство фасадов и т.п.

Особое внимание необходимо уделять деталям, так как при традиционной простоте объемно-пространственных композиций именно стилистика, пропорции и рисунок элементов декора обеспечивают своеобразие города. Для архитектуры Череповца, как и любого провинциального города, свойственно неточное следование столичным образцам, особенно во второй половине XIX века, но еще Г.К. Лукомский, русский историк, искусствовед, отмечал ценность «милых провинциализмов» с их «курьезной оригинальностью» [1].

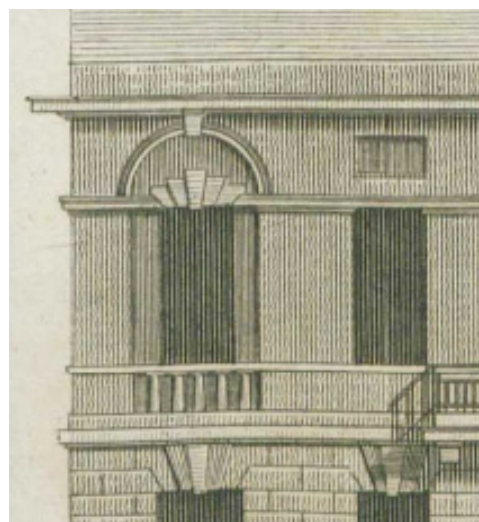
Подробное исследование и описание исторической каменной архитектуры необходимо для исторического поселения, так как, несмотря на то, что компенсационное устройство (взамен утраченных) и современная застройка в историческом центре Череповца должны подчиняться требованиям регламентов Проекта зон охраны, «новоделы» зачастую легко угадываются по нарушению пропорций, масштаба, увеличению угла наклона крыш, некачественной трактовке деталей (рис. 5). Упрощение, огрубление формы деталей не делает здание более современным, оно воспринимается лишь плохо исполненной копией.

Застройка последних десятилетий в границах исторического центра Череповца, ориентируясь на краснокирпичную архитектуру, конечно, рифмуется с образом города, но типологически неверно применять для жилых зданий стилистические приемы и детали служебно-хозяйственных и коммерческих сооружений: высоких щипцов с крупными сухариками, генетически происходящих от краснокирпичной индустриальной архитектуры.

В Череповце не менее интересна для подражания и воспроизведения утрата архитектуры, ориентированная на классицизм, эклектику второй половины XIX века. Тем более недооценена самая уязвимая часть наследия – скромная рядовая (фоновая) застройка, образцы которой, по словам Г.К. Лукомского, «...пусть второстепенные, – если нужны не так же, как первоклассные сооружения, то нужны для цельности общей картины, нужны, как хористы, как музыканты, как статисты нужны в общей постановке оперы» [2].



а)



б)



в)



г)



д)



е)

Рис. 4. а), б) «Собрание фасадов, Его Императорским Величеством Высочайше апробованных для частных строений в городах Российской Империи». Часть III. 1812. Фасад № 77, общий вид, фрагмент; в), г) дом Гусевых, 1830 г., Советский проспект, 80, общий вид, фрагмент; д) Дом Волковых, I четверть XIX века, Советский проспект, 21, фрагмент; е) дом Пустошкиной, 1827 год, Советский проспект, 18



Рис. 5. «Новоделы»: д. № 16 по ул. Пролетарской, д. № 82 по Советскому проспекту

Композиционные приемы, наиболее характерные для каменной жилой застройки XIX – начала XX веков в границах исторического поселения «город Череповец»:

- здания в два этажа;
- прямоугольные в плане, иногда – с пристроенным объемом, выходящим на линию застройки и участвующим в объемно-пространственной композиции;
- преимущественно с вальмовой крышей;
- фасады, выходящие на улицу, даже при угловом расположении, преимущественно симметричные;
- в соответствии с рекомендациями первых серий образцовых проектов на фасадах должно быть нечетное количество окон – 3, 5, 7, 9, что во второй половине XIX века перестало быть обязательным и иногда нарушалось;
- соблюдение правила «вертикальных осей», когда совпадали оси окон первого и второго этажей (исключением являются здания с лавками с витринными широкими проемами в первом этаже);
- стиль – поздний классицизм, классицизирующая эклектика XIX – начала XX вв., советская архитектура до середины XX века. Краснокирпичный стиль в городе Череповце в большей мере характерен для общественных зданий. Модерн не характерен для Череповца. Здание в стиле модерн по Советскому

проспекту уникальное, его декоративные элементы не подлежат тиражированию, и в рамках настоящего исследования наиболее распространенных форм в архитектуре Череповца не рассматривается.





Для использования в качестве аналогов индивидуального жилищного строительства в историческом центре города Череповца автором были выявлены, систематизированы и описаны элементы архитектурного декора, наиболее характерные и часто применяемые в жилой каменной застройке XIX – начала XX веков. Это застройка по Советскому проспекту, улицам Карла Маркса, Милютина, Ленина, Коммунистов, Карла Либкнехта, Дзержинского, по периметру площади Революции, Красному переулку. Архитектурный облик этих улиц сложился под влиянием «типовых» проектов XIX века: прямого копирования «образцов» или подражания им, то есть стилистически декор в основном соответствует классицизму и классицизирующей эклектике.





В таблице представлены классификация архитектурных деталей и часть собранного иллюстративного материала – фрагменты фасадов объектов культурного наследия и исторически ценных градоформирующих объектов, вошедших в «Предмет охраны исторического поселения регионального значения “Город Череповец”».





Таблица

Классификация архитектурных деталей каменной жилой застройки XIX – начала XX веков в границах исторического поселения «город Череповец»

п/п	Архитектурные детали	Примеры
1	2	3
1	Венчающие карнизы, подкарнизные фризы: многообломные, с сухариками, ступенчатыми кронштейнами или городком; свешивающиеся части – преимущественно сильно выступающие, встречается подшивка карнизов с модульонами	

1	2	3
2	<p>Завершение главных фасадов различными аттиками: простыми и сложными, криволинейными, со слуховыми окнами</p>	
3	<p>Обязательное членение фасадов развитыми междуэтажными карнизами</p>	
4	<p>Характерны лопатки: угловые и в простенках между окнами, гладкие, рамочные, рустованные</p>	
5	<p>Отделка рустом: первый этаж, фрагментарно плоскости второго этажа, углы фасадов</p>	

1	2	3
6	<p>Оконные проёмы вертикальных пропорций, встречаются здания с витринными широкими окнами первого этажа;</p> <p>Обрамления оконных проемов:</p> <ul style="list-style-type: none"> – вырубные проемы без наличников, – с полочками надоконных карнизов, – с простыми рамочными наличниками, – сандрики, – циркульные/лучковые завершения оконных проемов с архивольтом, – оконные проемы в арочных нишах, – наиболее характерны завершения оконных проемов с замковым камнем – одинарным или веерным 	
7	<p>Подоконные ниши, филенки</p>	
8	<p>Рельефные вставки встречаются на подкарнизных и междуэтажных фризах, в оконных десюдепортах</p>	
9	<p>Кованые детали, чугунное литье: ограждения балконов, козырьки над входом</p>	

1	2	3	
10	Дымники, трубы; Водоприемные воронки		
11	Для фасадов жилой застройки более характерна штукатурка с последующей покраской, редко – неоштукатуренные кирпичные фасады		

Литература

1. Лукомский, Г. К. Старый Петербург: прогулки по старинным кварталам столицы / Г. К. Лукомский. – Петроград : Свободное искусство, 1917. – 164 с. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=456699> (дата обращения: 26.11.2019). – Текст : электронный.

2. Лукомский, В. К. Кострома. Исторический очерк В.К. Лукомского и описание памятников художественной старины Г.К. Лукомского / В. К. Лукомский, Г. К. Лукомский. – Санкт-Петербург : Издание Общины св. Евгении Красного Креста, 1913. – X. – 402 с.

3. Об утверждении предмета охраны, границ территории и требований к градостроительным регламентам в границах территории исторического поселения регионального значения город Череповец : Постановление Правительства Вологодской области от 30.10.2017 № 960. – URL : [https://vologda-](https://vologda-oblast.ru/dokumenty/zakony_i_postanovleniya/1496898/)

[oblast.ru/dokumenty/zakony_i_postanovleniya/1496898/](https://vologda-oblast.ru/dokumenty/zakony_i_postanovleniya/1496898/) (дата обращения: 26.11.2019). – Текст : электронный.

4. Рыбаков, А. А. Устюжна. Череповец. Вытегра / А. А. Рыбаков. – Москва : Искусство, 1981. – 213 с. – URL: https://www.booksite.ru/fulltext/ryb/akov/ust/yuz_hna/4.htm (дата обращения: 26.11.2019). – Текст : электронный.

5. Шулятикова, Е. Е. Архитектурные стили города Череповца XVIII – начала XX века / Е. Е. Шулятикова // Череповец: Краеведческий альманах. Выпуск 3. – Вологда, 2002. – URL : <https://www.booksite.ru/fulltext/3ch/ere/pov/ets/19.htm> (дата обращения: 26.11.2016). – Текст : Электронный.

6. Шулятикова, Е. Е. «Криули» г. Череповца как памятник градостроительного искусства XVIII - начала XX века / Е. Е. Шулятикова // Череповец: Краеведческий альманах. Выпуск 1. – Вологда, 1996. – URL: <https://www.booksite.ru/fulltext/che/rep/ove/ts/20.htm> (дата обращения: 26.11.2019). – Текст : электронный.

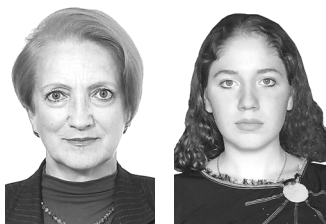
Е.М. Nikitina

REGIONAL FEATURES OF STONE RESIDENTIAL ARCHITECTURE OF CHEREPOVETS CITY HISTORICAL SETTLEMENT

The results of the city buildings studying and the “List of Cultural Heritage objects and historically valuable city-forming objects” are presented in this article.

Residential stone buildings of the XIX – early XX centuries, their distinctive and most common composition, architectural decorations and style were identified, systematized and described for using as analogues for individual residential construction in the historical center.

Historical settlement, “model” fasades, architectural details, historical building, subject of protection of the historic settlement.



Е.М. Никитина, Л.Р. Махмудова
Вологодский государственный университет

ОЦЕНКА ЗНАЧИМОСТИ ОКТЯБРЬСКОГО МОСТА КАК АРХИТЕКТУРНОГО И ИНФРАСТРУКТУРНОГО ОБЪЕКТА ГОРОДА ЧЕРЕПОВЦА

В статье рассматривается Октябрьский мост в городе Череповце по трем аспектам: определение градоформирующего значения моста в объемно-пространственной композиции города, исследование конструктивной системы и влияние транспортного давления. В итоге определяются и оцениваются важнейшие функции и проблемы моста. Авторы определили мост как трассу восприятия городских панорам.

Градоформирующий объект, вантовая конструкция, панорама, трасса восприятия, городская доминанта, историческая доминанта.

Уникальность Октябрьского моста в городе Череповце определена тем, что это первый вантовый мост, построенный в России. 5 ноября 2019 года будет отмечаться сорокалетие моста.

Целью статьи является оценка значимости Октябрьского моста как архитектурного и инфраструктурного объекта города Череповца.

Задачами статьи являются: исследование Октябрьского моста как градоформирующего объекта, исследование его конструктивных особенностей и выявление существующих проблем при его эксплуатации.

По указу Екатерины II город Череповец был создан «для пользы водяной коммуникации» в 1777 году. После образования водного пути, соединяющего бассейн Волги с Балтийским морем, в городе активно развивается торговля, увеличивается численность населения, происходит расширение границ города, в том числе за реку. В конце 19 века потребовалась реконструкция Мариинской водной системы, при этом произошло увеличение фарватера реки Шексны. К 1917 году Череповец становится крупным промышленным центром, в 1955 году строится Металлургический завод. По мере роста города помимо понтонной пере-

правы и парома появляется необходимость в более активной связи между противоположными берегами Шексны: в 1979 году, ровно 40 лет назад, было осуществлено строительство Октябрьского моста. Благодаря строительству вантового моста через реку Шексну в 1980-е годы на месте небольших деревень возник Зашекснинский район города (рис. 1).

Комплексные исследования Октябрьского моста были проведены автором по 3 аспектам: транспортному, конструктивному и градостроительному.

Транспортный аспект. Следствием увеличения строительства жилых комплексов и торговых-развлекательных центров на южном берегу реки Шексны является большое транспортное давление, оказываемое на мост. Кроме функции коммуникации между различными районами города строительство моста было важно с точки зрения экономики: поставка продукции Череповецкого металлургического комбината в другие города. Нагрузки, оказывающие давление на мост, снижают его эксплуатационные качества, возникают трещины, конструкции теряют свои прочностные характеристики. Появляется необходимость в проведении ремонтных работ.



Рис. 1. Октябрьский мост на фоне Зашекснинского района, июль 2019 г.

Конструктивный аспект. По мнению главного инженера проекта Б.И. Шкворова: «Этот мост уникальный, ... здесь впервые применены: ванты из закрытых канатов, принципиально новая конструкция эстакады. А главное отличие его в том, что в конструкцию включены вантовые металлические, а не железобетонные соединения».

Вантовый мост – конструктивная система, имеющая пилон, который соединен с дорожным полотном при помощи стальных вант.

Классификация вант по геометрической системе:

1. Система «пучок» – все тросы крепятся к одной точке (рис. 2).

2. Система «веер» – тросы не имеют общих точек, расположены не параллельно (рис. 3).

3. Система «арфа» – тросы не имеют общих точек, распределены по длине пилона, расположены параллельно (рис. 4) [3].

Для Октябрьского моста методом сравнения схем вантовых конструкций была выбрана система «веер» (рис. 5). Данная конструкция является наиболее прочной. Ванты работают на растяжение, пилон – на сжатие, балка жесткости – на изгиб. Крайние ванты не дают горизонтально смещаться верхней части пилона, обеспечивают систему большей жесткостью в вертикальной плоскости [1]. Основным материалом конструкций – металл (пилон, ванты); эстакадная часть – сталежелезобетон.

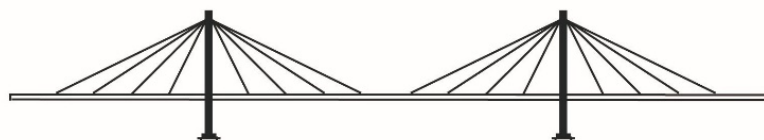


Рис. 2. Схема вантового моста. Система «пучок»

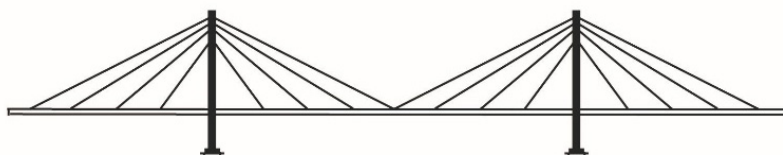


Рис. 3. Схема вантового моста. Система «веер»

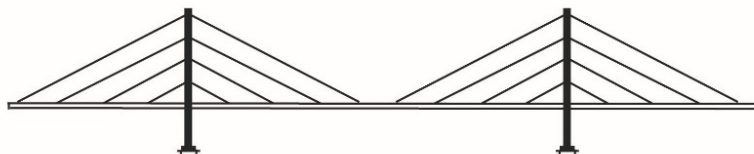


Рис. 4. Схема вантового моста. Система «арфа»



Рис. 5. Октябрьский мост, июль 2019 г.

Главная проблема моста – коррозия конструктивных элементов, происходит естественный процесс – старение, снижающее прочность и несущую способность. Вследствие этого можно сделать вывод, что основная часть ремонтных работ должна быть направлена на антикоррозийную защиту. В ходе обследования в 2015 году экспертной группой ЗАО «Научно-проектный институт "ИМИДИС"» (г. Москва) было выявлено ржавление вант на 0,03–0,05 мм/год, в металлической балке обнаружена трещина. На основе результатов была разработана программа выполнения ремонтных работ в 5 этапов с 2017 г. по 2021 г.

Проблемы реконструкции моста обсуждались на последнем градостроительном совете 21 марта 2019 года. Губернатор Вологодской области Олег Кувшинников предложил проработать вопрос ремонта без перекрытия движения. На совете было решено отложить реконструкцию моста до 2022 года, до этого времени сооружение обработают средством от коррозии и покрасят.

Губернатор Вологодской области предложил заняться ремонтом после постройки нового моста в створе Архангельской улицы, так как при перекрытии (даже частичном) Октябрьского проспекта – основной магистрали города, соединяющей Зашекснинский район со всеми остальными, – в городе образуется большой затор.

Градостроительный аспект. Октябрьский мост имеет важнейшее градоформирующее значение в объемно-пространственной композиции Череповца. Выразительный облик моста сформирован благодаря конструктивным элементам. Его силуэт органично вписывается в ландшафт современного индустриального города, эффектно доминируя в речных панорамах, над широким зеркалом реки.

Автором было проанализировано *Постановление Правительства области от 30.10.2017 № 960 «Предмет охраны исторического поселения регионального значения город Череповец»* [2], где представлен перечень охраняемых объектов культурного наследия федерального и регионального значения,

ценные градоформирующие объекты, выявленные объекты культурного наследия. Октябрьский мост не включен ни в один список, но авторы статьи считают, что этот объект обладает уникальной историко-культурной ценностью как первый вантовый мост в России, высокими художественно-эстетическими качествами, имеет важнейшее градоформирующее значение.

В связи с тем, что 5 ноября 2019 года Октябрьскому мосту исполнится сорок лет, становится возможным в соответствии с федеральным законом от 25 июня 2002 N 73-ФЗ «Об объектах культурного наследия (памятниках истории и культуры) народов Российской Федерации» (глава 1, статья 18, раздел 7), включить данное сооружение в перечень выявленных объектов культурного наследия.

В «Предмете охраны исторического поселения регионального значения город Череповец» не учтено градоформирующее значение Октябрьского моста. Авторы статьи рассматривают его, графичный и воздушный, с выразительным силуэтом в качестве одного из важнейших элементов, участвующих в формировании композиции города и не искажающего при этом панорам набережных реки Шексны. В ходе натурного исследования *мост* был определен авторами как еще одна **трасса восприятия городских панорам**.

Панорама с восточной стороны моста (рис. 6) обладает сезонностью восприятия. Летом основу силуэта составляет обильная высокоствольная растительность на обоих берегах. Зимой проявляется историческая доминанта – Усадьба Гальских, расположенная на естественном природном рельефе.

Панорама с западной стороны моста (рис. 7) демонстрирует влияние промышленной архитектуры на городской ландшафт. Производственная труба предприятия ПАО «Северсталь» играет роль локальной доминанты, помогает определить расположение Индустриального района. Основу силуэта правого берега реки составляют промышленные предприятия, ритм высоких труб, левого – растительность.

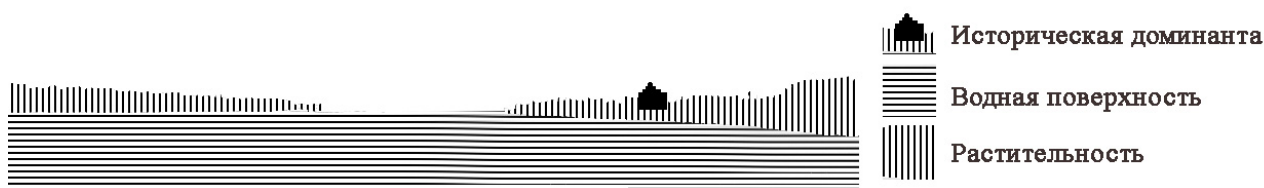


Рис. 6. Схема панорамы с восточной стороны моста

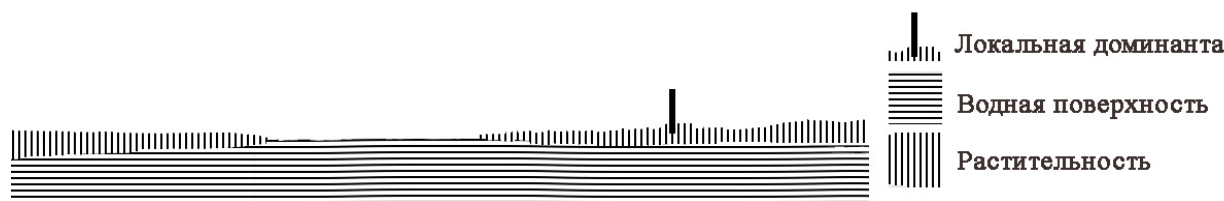


Рис. 7. Схема панорамы с западной стороны моста

Итак, в ходе работы был проанализирован и оценен Октябрьский мост как архитектурный и инфраструктурный объект города Череповца. Основная функция – *транспортная*, средство коммуникации двух районов. Главная проблема моста – коррозия металлических частей и старение конструкций (*естественный процесс*). Мост формирует силуэт города, являясь общегородской высотной доминантой; с другой стороны, мост – это трасса визуального восприятия городских панорам, которую можно включить в экскурсионные маршруты. Октябрьский мост имеет историческую ценность как первый вантовый мост в России, вследствие этого его можно внести в перечень выявленных объектов культурного наследия. Требуется привлечение внимания к мосту как одной из главных достопримечательностей города, популяризация его достоинств.

Литература

1. Инженерные сооружения в транспортном строительстве. Книга 1 : учебник для студентов высших учебных заведений / [П. М. Саламахин, Л. В. Маковский, В. И. Попов и др.] ; под редакцией П. М. Саламахина. – Москва : Академия, 2007. – 227 с.
2. Об утверждении предмета охраны, границ территории и требований к градостроительным регламентам в границах территории исторического поселения регионального значения город Череповец : Постановление Правительства Вологодской области от 30.10.2017 № 960. – URL: https://vologda-oblast.ru/dokumenty/zakony_i_postanovleniya/1496898/ (дата обращения: 26.11.2019). – Текст : электронный.
3. Строительство мостов. – Текст : электронный // Сайт проектной строительной компании ТРАНССТРОЙПРОЕКТ: проектный институт. – URL: <http://tspmsk.ru/o-kompanii/> (дата обращения: 26.11.2019).

E.M. Nikitina, L.R. Makhmudova

SIGNIFICANCE EVALUATION OF THE OCTOBER BRIDGE AS AN ARCHITECTURAL AND INFRASTRUCTURAL OBJECT OF CHEREPOVETS CITY

The article analyzes the October bridge in the city of Cherepovets in three aspects: determining the city-forming significance of the bridge in the spatial composition of the city, studying the structural system and the effect of transport pressure. As a result, the most important functions and problems of the bridge were identified and evaluated. The authors defined the bridge as a route for the perception of urban panoramas.

City-forming object, cable-stayed structure, panorama, perception route, urban dominant, historical dominant.



ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИКИ СМЕШИВАНИЯ ДРЕВЕСНЫХ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

В данной статье представлена математическая модель исследования процессов смешивания древесных сыпучих материалов в агрегатах сушки-измельчения при изготовлении строительных материалов. Кинетика рассматривалась с позиции теории цепей Маркова в представлении ячеечной модели. Также адаптированы уравнения теплопроводности и законы диффузии в процессе смешивания. Для решения параметров процессов смешивания использована идея Леви-Чивита, приведены законы для расчета базовых операторов, которые объясняют фундаментальные процессы, а также способствуют дальнейшему совершенствованию систем изготовления строительных материалов.

Цепи Маркова, сушка, измельчение, древесные сыпучие материалы, идея Леви-Чивита, ячеечные представления, виртуальное перемещение ячеек.

Разобраться в том, что происходит в древесном материале в процессе тепловой обработки, исследователю помогает теория тепломассопереноса. Благодаря работам А.В. Лыкова, учеников и исследователей его школы [1–2] эта теория, базирующаяся на фундаментальных законах математической физики, испытала бурное развитие в 70-х годах прошлого столетия. К сожалению, труды А.В. Лыкова – в настоящее время редкость. Большинство современных исследователей предпочитают способы решения задачи компьютерными (численными) методами. Первая научно обоснованная монография по смесителям, которая фактически положила начало использованию математического аппарата случайных марковских процессов при моделировании процессов смешивания, была написана профессором Ю.И. Макаровым [3]. Данный подход успешно развивается и используется как для периодических, так и для непрерывных процессов смешивания [4].

В современной деревообрабатывающей промышленности огромное значение имеет рациональное использование отходов производства. Крайне популярным в последнее время становится изготовление древесных строительных материалов из отходов процессов деревообработки (сухостоя, опилок, стружки, некондиционной древесины). Данная мера экономически крайне выгодна. Однако для получения качественных строительных материалов необходимо грамотно соблюсти технологию производства, в частности процесс измельчения и сушки отходов. Данный этап является наиболее важным, так как в нем формируется состав будущих материалов и, как следствие, его свойства. Для сокращения затрат на производства созданы агрегаты, объединяющие процессы измельчения и сушки в единый технологический процесс. Данная мера обеспечила сокращение затрат на производство, однако поставила ряд вопросов, связанных с моделированием процессов переноса и расчета эффективных параметров технологических процессов для получения качественного строительного материала.

Моделирование процессов переноса в данной технологической установке крайне сложная и многогранная задача. Однако существует ряд вопросов, поддающихся математическому моделированию. В данной работе представлена модель процессов переноса древесных отходов, находящихся в агрегате измельчения и сушки, в виде сыпучей смеси. Математическая модель основана на ячеечном представлении, для которого справедливо использование теории цепей Маркова.

Марковские цепи в применении ячеечной модели объективны в первую очередь для процессов, в которых задействованы сыпучие смеси, подверженные сегрегации. К подобного рода процессам можно отнести процесс получения из отходов, прошедших первичные этапы обработки, смеси с набором необходимых свойств (влажности, степени измельченности). Данный технологический этап происходит в динамическом классификаторе агрегата измельчения-сушки. Динамический классификатор пропускает мелкое и сухое сырье, а крупные и влажные частицы сырья возвращает к ротору агрегата, этот процесс повторяется до получения необходимой влажности и степени измельчения сырья.

Ячеечная модель в данном случае имеет ряд трудностей, которые создают нелинейность марковских цепей и, как следствие, вынуждают ограничить применение модели ввиду необходимости создания каждый раз новой матрицы переходных вероятностей. В связи с этим можно применить метод виртуального перемещения ячеек, то есть перемещать не ячейки, а полностью материал из одной ячейки в другую. Данное допущение позволяет также пренебречь нелинейностью марковских цепей.

Предположим, что ячейки перемещаются в системе с интенсивностью $\lambda > 0$, так что длительности изменения состояния (положения) ячеек независимы друг от друга, то есть одинаково распределены с функцией распределения $B(\chi)$ [5]. При этом, наблюдая состоя-

ние ячейки, то есть наличие в ней частицы и ее переходное состояние, в момент времени $t = 1, 2, 3 \dots$ можно сделать вывод, что X_t – состояние системы в момент времени t . Если предположить, что $X_t=0$, то можно получить соотношение:

$$X_{t+1} = \max\{0, X_t + M_{t+1} - 1\}, \quad t = 0, 1, 2, \dots,$$

где случайные величины M_1, M_2, \dots – независимы и распределены, причём

$$P\{M_t = k\} = \int_0^{\infty} (\lambda \epsilon)^k * (k)^{-1} * \exp[-\lambda \epsilon] * dB(\epsilon).$$

Число M_t – количество преобразований состояния ячейки (наличия и/или изменения в ней положения частицы) за t момент времени. Таким образом, цепь Маркова образуется следующей стохастической последовательностью:

$$\{X_0, X_1, \dots\}.$$

Данное выражение справедливо при условии, что речь идет о марковских процессах дискретных в пространстве и во времени. Данный вид цепей является наиболее простым для моделирования. А также мы можем принять допущение, что частица может принадлежать только к одной из m ячеек, то есть находиться в текущий момент времени только в ней. В соответствии с поставленными условиями и допущениями, мы можем получить матрицу переходов в следующем виде:

$$X = \begin{bmatrix} m_{11} & m_{12} & m_{13} & \dots & m_{1k-1} & m_{1k} \\ 0 & m_{22} & m_{23} & \dots & m_{2k-1} & m_{2k} \\ 0 & 0 & m_{33} & \dots & m_{3k-1} & m_{3k} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & m_{k-1k-1} & \dots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & m_{kk} \end{bmatrix}.$$

Представленная ячеечная модель, как известно, классифицируется как цепь Маркова, однородная и нелинейная. В связи с этим адекватным будет использование следующей формулы:

$$P_{ij}(k) = P_0 \times [1 - C_j \times (k - 1)],$$

где $P_{ij}(k)$ – вероятность перехода частиц ключевого компонента из ячейки i в ячейку j на переходе k ; P_0 – вероятность перехода частиц ключевого компонента из ячейки i в ячейку j при нулевой концентрации ключевого компонента в ячейке j ; $C_j(k-1)$ – концентрация ключевого компонента в ячейке j на переходе $k-1$.

Использование вышеприведенных инструментов моделирования процессов интенсификации при изготовлении древесных строительных материалов также будет полезно при решении уравнений теплопроводности вида [6]:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = a \times \Delta T(M, t) + \vartheta_0 \times \nabla T(M, t) + [\omega \times r] \times \nabla T(M, t).$$

В нашем случае справедливо будет применение вращательного движения системы координат с угловой скоростью ω , если $\vartheta_\varphi \times e_\varphi = \omega \times r \times e_\varphi$ – линей-

ная скорость вращательного движения в направлении окружности. При этом $\left(\frac{1}{r}\right) \times \left(\frac{\partial T}{\partial \varphi}\right) \times e_\varphi$ – grad температуры в данном направлении. С учетом $T = T(r, \varphi, t)$, получим:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = a \times \left(\frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \times \frac{\partial T}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \times \frac{\partial^2 T}{\partial \varphi^2} \right) + \omega \times \frac{\partial T}{\partial \varphi}.$$

При исследовании кинетики смешивания сыпучих древесных материалов в процессе изготовления древесных строительных материалов целесообразно будет применение моделей, связанных как со смешением в целом сыпучих материалов, так и с расчётом эффективных параметров агрегатов прессования, сушки и т.д.

В этой связи большим достижением стало использование в теории смешивания сыпучих материалов диффузионной модели. В данном случае мы можем воспользоваться дифференциальными уравнениями Фоккера-Планка [3]:

$$\frac{\partial c}{\partial t} = - \frac{\partial}{\partial x} (c(x, r) \times u(x)) + \frac{\partial^2}{\partial x^2} (D_L(x) \times c(x, r)) + \frac{D_r}{r} \times \frac{\partial}{\partial r} \left(r \times \frac{\partial (x, r)}{\partial r} \right),$$

где, $u(x)$ – средняя скорость конвекции материала в смесителе, r, x – координаты, D – экспериментальные коэффициенты поперечной и продольной диффузии.

С учётом использования в работе цепей Маркова, можно использовать диффузионное уравнение Колмогорова [7]:

$$\frac{\partial f}{\partial t} = \frac{\partial^2 (Df)}{\partial x^2} - \frac{\partial (Vf)}{\partial x},$$

где, $f(x, t)$ – функция плотности вероятности по отношению к процессам перехода частиц ключевого компонента за момент времени, D – диффузионный коэффициент, V – скорость сноса.

Решение приведенных выше уравнений позволяет дать дальнейший ход расчёту эффективных параметров, более совершенных деревоизготовительных установок. В частности, будет полезно при применении идеи Леви-Чивита о параллельном переносе векторов [8]. Из определения следует, что вектор A^i в точке M и ему контравариантный вектор A^i в бесконечно-близкой точке риманова пространства можно считать равными векторами. Таким образом, можно вычислить составляющие этих векторов:

$$a'_\alpha - a_\alpha = \left(\frac{\partial y_\alpha}{\partial x^i} \right)' \times A^i - \frac{\partial y_\alpha}{\partial x^i} \times A^i.$$

Следует заметить, что штрих указывает на рассмотрение величины в контексте точки M . Но далее следует ввести допущение:

$$\delta A^i = A^i - A^i.$$

А также, следует заметить, что

$$\left(\frac{\partial y_\alpha}{\partial x^i} \right)' = \frac{\partial y_\alpha}{\partial x^i} + \frac{\partial^2 y_\alpha}{\partial y^i \partial x^k} \times dx^k.$$

В таком случае можно ограничиться бесконечно-малыми величинами первого порядка, тогда с учётом уравнения составляющих вектора можем получить:

$$(a'_\alpha - a_\alpha)^2 = \sum_{\alpha=1}^m \left(\frac{\partial y_\alpha}{\partial x^i} \times \delta A^i + \frac{\partial^2 y_\alpha}{\partial y^i \partial x^k} \times dx^k \right)^2.$$

Таким образом, при параллельном переносе вектора A^i его составляющие получают некоторые приращения δA^i . Они же, в свою очередь, определяются следующим образом:

$$\begin{aligned} \delta A^i \sum_{\alpha=1}^m \frac{\partial y_\alpha}{\partial x^i} \times \frac{\partial y_\alpha}{\partial x^k} + A^i \times \\ \times dx^k \sum_{\alpha=1}^m \frac{\partial y_\alpha}{\partial x^r} \times \frac{\partial^2 y_\alpha}{\partial y^i \partial x^k} \times dx^k = 0. \end{aligned}$$

Далее справедливо будет указать, что использованные в римановом пространстве геометрические понятия будут применимы для определения таких важных параметров, как дивергенция векторного поля, а за ней, как следствие, составляющие вихря вектора, моделирующего движение частиц и ячеек в их виртуальном представлении.

Для дальнейших расчётов нам необходимо ввести обозначения H_i – коэффициенты Ламэ:

$$H_i^2 = \left(\frac{\partial y_1}{\partial x^i} \right)^2 + \left(\frac{\partial y_2}{\partial x^i} \right)^2 + \left(\frac{\partial y_3}{\partial x^i} \right)^2.$$

При этом справедливо будет введение следующих допущений:

$$\left\{ \begin{array}{l} g_{ii} = H_i^2 \\ g = H_1^2 \times H_2^2 \times H_3^2 \\ g^{ii} = \frac{1}{H_i^2} \\ g_{ik} = g^{ik} = 0 \quad \text{при } i \neq k \\ A_{xi} = H_i \times A^i = \frac{1}{H_i} \times A^i \end{array} \right.$$

С учётом приведённых выше параметров можем получить закон для расчётов параметров div и rot вектора A , моделирующего кинетику смешивания частиц при изготовлении древесных материалов:

$$\begin{aligned} \text{div } A &= \frac{1}{H_1 H_2 H_3} \times \\ &\times \left(\frac{\partial H_2 H_3 A_{x^1}}{\partial x^1} + \frac{\partial H_3 H_1 A_{x^2}}{\partial x^2} + \frac{\partial H_1 H_2 A_{x^3}}{\partial x^3} \right), \\ (\text{rot } A)_{x^i} &= \frac{1}{H_2 H_3} \left\{ \frac{\partial (H_3 A_{x^2})}{\partial x^2} - \frac{\partial (H_2 A_{x^3})}{\partial x^3} \right\}. \end{aligned}$$

Затем, вводя условие, что вышеприведенные формулы применимы к вектору $A = \text{grad } f$, при этом предположив, что

$$A_i = \frac{\partial f}{\partial x^i}, \quad A^i = g^{ik} \times \frac{\partial f}{\partial x^k}.$$

Мы можем получить выражение для оператора Лапласа, применимое для различных криволинейных координат:

$$\nabla f = \text{div grad } f = \frac{1}{\sqrt{g}} \times \frac{\partial}{\partial x^i} \left(\sqrt{g} \times g^{ik} \times \frac{\partial f}{\partial x^k} \right).$$

А также для решения более частных задач в ортогональных системах координат можно получить следующее выражение:

$$\begin{aligned} \nabla f = \frac{1}{H_1 H_2 H_3} \left\{ \frac{\partial y}{\partial x^1} \left(\frac{H_2 H_3}{H_1} \times \frac{\partial f}{\partial x^1} \right) + \frac{\partial y}{\partial x^2} \left(\frac{H_3 H_1}{H_2} \times \frac{\partial f}{\partial x^2} \right) \right. \\ \left. + \frac{\partial y}{\partial x^3} \left(\frac{H_1 H_2}{H_3} \times \frac{\partial f}{\partial x^3} \right) \right\}. \end{aligned}$$

Таким образом, при использовании нелинейной модели, а также виртуального перемещения ячеек, можно сделать вывод, что структура матрицы переходных вероятностей не меняется, а все расчёты можно произвести по вышеуказанным формулам. Кроме того, нелинейная модель является более обобщенной и её адекватность даёт возможность использовать более простые в расчётах линейные модели. Адекватность в целом математической модели можно легко проверить экспериментальными исследованиями, а все необходимые расчеты выполняются на ЭВМ. Кроме того, представленная модель позволяет создать фундамент для дальнейшего совершенствования существующих систем интенсификации деревоизготовительных установок, а также позволяет положить начало созданию новых, более совершенных систем.

Использование теории виртуального перемещения ячеек вполне оправдывает себя и при решении уравнений теплопроводности. Достаточно полезным оно будет и при решении уравнений о параллельном переносе вектора, характеризующего кинетику процессов смешивания по определенным параметрам. В данном же случае это поможет определить div и rot данного вектора. А также, что немаловажно, при реализации задачи через идею Леви-Чивита, используя элементы тензорной алгебры, можно найти решение для оператора Лапласа как в криволинейных, так и в более упрощенном варианте – ортогональных системах координат. Как известно, он способен привести к операторам и функциям, крайне полезным при решении конкретных (частных) задач.

Следует также отметить, что предложенная модель исследования кинетики смешивания древесных сыпучих материалов и приведение некоторых приложений в крайне обобщенном виде – лишь одна из фундаментальных постановок, которые при дальнейшем изучении способны привести к решению многих задач процессов смешивания, теплопереноса и других процессов, происходящих в агрегатах по смешиванию и сушки древесных отходов. Кроме того, данная постановка задачи способна дать не только фундаментальные уравнения, но и конкретные решения для совершенствования агрегатов и технологий изготовления древесных материалов высокого качества.

Литература

1. Рудобашта, С. Н. Массоперенос в системах с твердой фазой / С. Н. Рудобашта. – Москва : Химия, 1980. – 248 с.
2. Сажин, Б. С. Научные основы теории сушки / Б. С. Сажин, В. Б. Сажин. – Москва : Наука 1997. – 448 с.
3. Макаров, Ю. И. Аппараты для смешения сыпучих материалов / Ю. И. Макаров. – Москва : 1973. – 215 с.
4. Селиванов, Ю. Т. Исследования влияния осевого движения на процесс непрерывного смешивания сыпучего материала во вращающемся барабане / Ю. Т. Селиванов, В. Ф. Першин // Известия высших учебных заведений. Серия: химия и химическая технология. – 2003. – Т. 46, №7. – С.42–45.
5. Зорин, А. В. Введение в общие цепи Маркова : учебно-методическое пособие / А. В. Зорин. – Нижний Новгород : Нижегородский госуниверситет, 2013. – 51 с.
6. Карташов, Э. М. Аналитические методы в теории теплопроводности твердых тел : учебное пособие / Э. М. Карташов. – 2-е изд., доп. – Москва : Высшая школа, 1985. – 480 с.
7. Бытев, Д.О. Основы теории и методы расчета оборудования для переработки гетерогенных систем в дисперсно-пленочном состоянии : специальность 05.04.09 : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Бытев Донат Олегович ; Ярославский государственный технический университет. – Ярославль, 1995. – 545 с.
8. Кочин, Н. Е. Векторное исчисление и начала тензорного исчисления / Н. Е. Кочин. – Москва : Наука 1965. – 420 с.

Yu.R. Osipov, K.S. Lukin

RESEARCH OF WOOD BULK MATERIALS MIXING KINETICS DURING PRODUCTION OF CONSTRUCTION MATERIALS

The mathematical model of a research of mixing processes of wood bulks in drying crushing units during production of construction materials is presented in this article. The kinetics was considered from a position of Markov theory of chains in representation of cell-like model. The equations of heat conductivity and laws of diffusion in the course of mixing are also adapted. For the defining of parameters of mixing processes, the Levi-Civita idea is used; laws for calculation of basic operators who explain fundamental processes and contribute to further improvement of the system of production of construction materials are presented.

Markov chains, drying, crushing, wood bulks, Levi-Civita idea, cell-like representations, virtual movement of cells.



МЕТОД РАСЧЕТА ГАЗОЛУЧИСТОГО ОТОПЛЕНИЯ ЗИМНЕЙ ТЕПЛИЦЫ С ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫМ ПОДОГРЕВОМ ПРИТОЧНОГО ВОЗДУХА

В статье рассмотрен вариант газолучистого отопления при условии предварительного подогрева наружного воздуха перед его подачей в теплицу с целью организации воздухообмена. Представлены результаты расчета отопления теплицы с предварительным подогревом приточного воздуха.

Газолучистое отопление, инфракрасный излучатель, подогреватель воздуха, почва, зимняя теплица.

Газолучистое отопление является перспективным способом обогрева зимних теплиц, так как растения круглогодично будут получать естественное инфракрасное излучение, а в случае утилизации продуктов сгорания газообразного топлива – также и углекислый газ, который им необходим для реакции фотосинтеза.

Основная часть топливно-энергетических ресурсов в сельском хозяйстве (30 ÷ 60 %) расходуется на отопление теплиц, предназначенных для круглогодичного выращивания растений (овощей, рассады и др.) в защищенном грунте. Это, в первую очередь, связано с использованием в качестве ограждения стекла и поликарбоната (монолитного, сотового), которые обладают сравнительно невысокими теплозащитными свойствами [1]. Немаловажную роль в потреблении тепловой энергии играет вентиляция в случае забора воздуха из окружающей среды без предварительного его подогрева (особенно в зимний период).

В настоящее время существуют различные пути повышения энергетической эффективности зимних теплиц, как, например, за счет использования пиролизных установок [2] или солнечной энергии [3]. Такие инновационные технологии, несмотря на нетрадиционные подходы к обогреву культивационных

сооружений, имеют недостатки: зависимость от географических условий и факторов окружающей среды. Поэтому альтернативным вариантом может стать инфракрасный обогрев почвы и помещения теплицы с использованием в качестве источников теплоты потолочных инфракрасных излучателей. Системы лучистого отопления позволяют: предотвратить появление бактерий, оказывающих негативное влияние на ростки; равномерно обогреть все растения и грунт в теплице; повысить интенсивность роста и развития растений; получить высокую урожайность. Кроме того, инфракрасный обогрев не приводит к осушению воздуха, обладает высокой надежностью и, как следствие, продолжительным периодом бесперебойной эксплуатации [4].

Как известно, основное назначение зимних теплиц – это поддержание требуемых параметров микроклимата в холодный период года. В таблице представлены в качестве примера параметры температурно-влажностного режима теплицы для различных видов сельскохозяйственных культур в период до плодоношения, регламентированные методическими рекомендациями [5].

Таблица

Температурно-влажностный режим теплицы (до плодоношения)

Культура	Температура воздуха, °С			Температура грунта, °С	Относительная влажность воздуха, %
	день		ночь		
	солнечно	пасмурно			
Огурец (зимне-весенний оборот)	22÷24	20÷22	17÷18	20÷24	70÷75
Огурец (осенний оборот)	25÷26	22÷23	19÷20	22÷24	70÷75
Томат (зимне-весенний оборот)	22÷24	19÷20	16÷17	18÷20	60÷65
Томат (осенний оборот)	24÷26	18÷20	16÷18	18÷19	60÷70
Салат кочанный	20÷23	16÷18	10	15÷16	70÷80
Редис	20÷22	7÷9	5÷6	15÷16	60÷70
Укроп, шпинат	17÷18	8÷12	5÷6	15÷16	65÷80

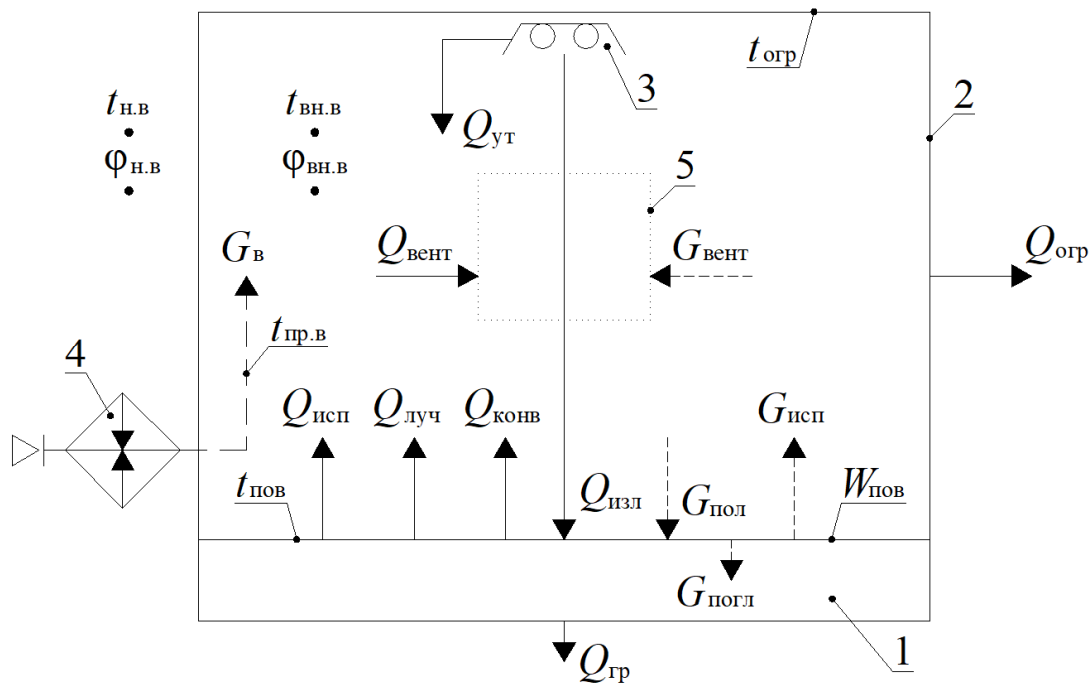


Рис. 1. Расчетная схема газолучистого отопления зимней теплицы: 1 – почва; 2 – ограждение; 3 – газовый инфракрасный излучатель; 4 – подогреватель воздуха; 5 – вытяжной вентиляционный проем

Как показали предыдущие расчеты, лучистое отопление зимней теплицы в случае непосредственного забора наружного воздуха для нужд вентиляции без предварительного его подогрева не позволяет поддерживать заданный тепловой режим помещения (табл.). Решением данной проблемы может стать прохождение потока холодного воздуха через подогреватель (калорифер) перед его подачей в теплицу. Это позволит не только поддерживать заданный тепловой режим в помещении, но и снизить тепловую нагрузку инфракрасного обогрева, предотвратить ожоги растений инфракрасными волнами, уменьшить снеговую нагрузку на теплицу за счет увеличения температуры ограждения. С точки зрения экономической целесообразности стоит рассмотреть газолучистое отопление. Теплота продуктов сгорания в ходе сжигания газообразного топлива также может стать приходной статьей теплового баланса. Кроме того, растения в теплице дополнительно будут получать углекислый газ (двуокись углерода CO_2), который им необходим для реакции фотосинтеза.

На рисунке 1 представлена расчетная схема газолучистого отопления зимней теплицы с предварительным подогревом приточного воздуха.

Тепловлажностный режим зимней теплицы (рис. 1), согласно таблице, определяется температурой $t_{\text{вн.в}}$, °С, и относительной влажностью $\Phi_{\text{вн.в}}$, % внутреннего воздуха, а также температурой поверхности почвы (1), равной $t_{\text{пов}}$. Влагосодержание поверхности почвы (1) имеет постоянное значение $W_{\text{пов}}$ кг/кг. Температура и относительная влажность наружного воздуха также известны и соответственно составляют $t_{\text{н.в}}$ и $\Phi_{\text{н.в}}$. Температура внутренней поверхности ограждения (2)

теплицы ($t_{\text{огр}}$) неизвестна и находится через решение системы уравнений теплового баланса относительно рассматриваемой поверхности. В зимнюю теплицу для нужд вентиляции подается наружный воздух расходом по сухой части $G_{\text{в}}$, кг/с, предварительно нагретый в подогревателе воздуха (4) до температуры $t_{\text{пр.в}}$, величина которой определяется расчетным способом.

В таком случае уравнение теплового баланса зимней теплицы при газолучистом отоплении будет иметь вид:

$$Q_{\text{изл}} + Q_{\text{ут}} = Q_{\text{огр}} + Q_{\text{вент}} + Q_{\text{гр}}, \text{ Вт}, \quad (1)$$

где $Q_{\text{изл}}$ – тепловая мощность газолучистого отопления, Вт; $Q_{\text{ут}} = B_{\text{п}} I_{\text{г}}$ – тепловой поток, поступающий в теплицу от продуктов сгорания газообразного топлива, Вт; $B_{\text{п}}$ – объемный расход газообразного топлива, $\text{м}^3/\text{с}$; $I_{\text{г}}$ – энтальпия продуктов сгорания газообразного топлива на выходе из газового инфракрасного излучателя (3), Дж, приходящаяся на 1 м^3 газообразного топлива; $Q_{\text{огр}}$ – потери теплоты теплопередачей через ограждение (2) теплицы, Вт; $Q_{\text{вент}}$ – потери теплоты с вентиляционным воздухом, уходящим из теплицы через вытяжной вентиляционный проем (5), Вт; $Q_{\text{гр}}$ – потери теплоты в грунт, Вт.

Не приводя в статье промежуточных математических преобразований, запишем уравнение (1) в несколько ином виде:

$$\frac{Q_{\text{изл}}}{\eta_Q} = Q_{\text{огр}} + Q_{\text{вент}} + Q_{\text{гр}}, \text{ Вт}, \quad (2)$$

где η_0 – лучистый КПД газового инфракрасного излучателя (3).

Для расчета газолучистого отопления зимней теплицы также требуется уравнение теплового баланса поверхности почвы (1), которое связывает между собой тепловые и массообменные процессы:

$$\frac{A_1 Q_{\text{изл}}}{1 - k_{\text{отр}}} = Q_{\text{луч}} + Q_{\text{конв1}} + Q_{\text{исп}} + Q_{\text{гр}}, \text{ Вт}, \quad (3)$$

где $k_{\text{отр}} = (1 - A_1)(1 - A_2) \frac{\Phi_{21}}{1 - \Phi_{22}(1 - A_2)}$ – коэффициент,

учитывающий многократное отражение теплового излучения от поверхности почвы (1) и внутренней поверхности ограждения (2) теплицы; A_1 и A_2 – соответственно коэффициенты поглощения поверхности почвы (1) и внутренней поверхности ограждения (2) теплицы; Φ_{21} – коэффициент облученности с внутренней поверхности ограждения (2) теплицы на поверхность почвы (1); Φ_{22} – коэффициент самооблученности внутренней поверхности ограждения (2) теплицы; $Q_{\text{луч}}$ – результирующее тепловое излучение, возникающее между поверхностью почвы (1) и внутренней поверхностью ограждения (2) теплицы, Вт; $Q_{\text{конв1}}$ – тепловой поток, вызванный конвективным теплообменом между поверхностью почвы (1) и приземным слоем воздуха в теплице (на рис. 1 обозначен как $Q_{\text{конв}}$), Вт; $Q_{\text{исп}}$ – тепловой поток, расходуемый на испарение влаги с поверхности почвы (1), Вт.

Как было отмечено ранее, для выполнения расчета газолучистого отопления зимней теплицы также необходима система уравнений теплового баланса ограждения (2) теплицы, одно из которых имеет вид:

$$Q_{\text{отр}} = \left(1 - \frac{A_1}{1 - k_{\text{отр}}} \right) Q_{\text{изл}} + Q_{\text{луч}} + Q_{\text{конв2}}, \text{ Вт}, \quad (4)$$

где $Q_{\text{конв2}}$ – конвективная составляющая теплообмена между внутренним воздухом и внутренней поверхностью ограждения (2) теплицы, Вт.

В то же время тепловой поток, уходящий через ограждение (2) теплицы в окружающую среду, по уравнению теплопередачи будет равен:

$$Q_{\text{отр}} = \frac{t_{\text{отр}} - t_{\text{н.в}}}{R_t} F_{\text{отр}} (1 + \beta_{\text{инф}}), \text{ Вт}, \quad (5)$$

где $R_t = R_{\text{отр}} + 1/\alpha_{\text{н}}$ – сопротивление теплопередаче ограждения (2) теплицы, $\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$; $R_{\text{отр}}$ – термическое сопротивление ограждения (2) теплицы, $\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$; $\alpha_{\text{н}}$ – коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждения (2), $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$. По данным таблицы 6 свода правил [6] $\alpha_{\text{н}} = 23 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$; $F_{\text{отр}}$ – суммарная площадь ограждения (2) теплицы, м^2 ; $\beta_{\text{инф}}$ – коэффициент, учитывающий дополнительные затраты тепловой энергии на нагрев инфильтрующегося воздуха, обычно принимается равным 0,2 [7].

Тепловая мощность подогревателя воздуха (4) рассчитывается по формуле:

$$Q_{\text{вт}} = G_{\text{в}} (h_{\text{пр.в}} - h_{\text{н.в}}), \text{ Вт}, \quad (6)$$

где $G_{\text{в}}$ – массовый расход сухой части влажного воздуха, участвующего в воздухообмене в теплице, кг/с; $h_{\text{пр.в}}$ и $h_{\text{н.в}}$ – соответственно удельная энтальпия приточного и наружного влажного воздуха, Дж/кг.

Рассмотрим на примере индивидуальной промышленной теплицы «Фермер 7.5» (рис. 2) метод расчета газолучистого отопления.

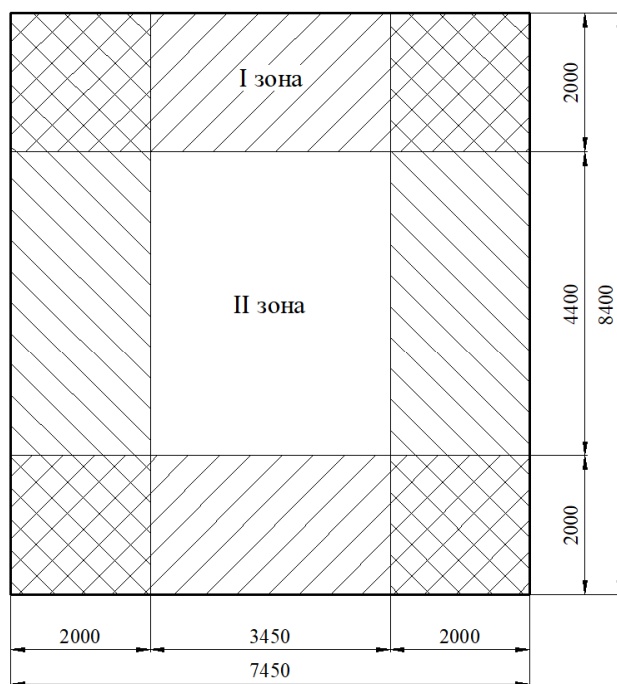
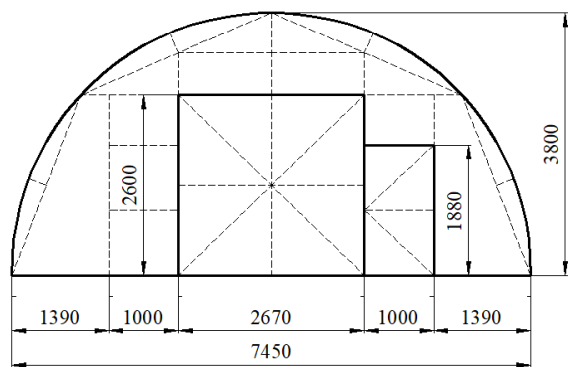


Рис. 2. Промышленная теплица «Фермер 7.5» и схема разбивки грунта на зоны

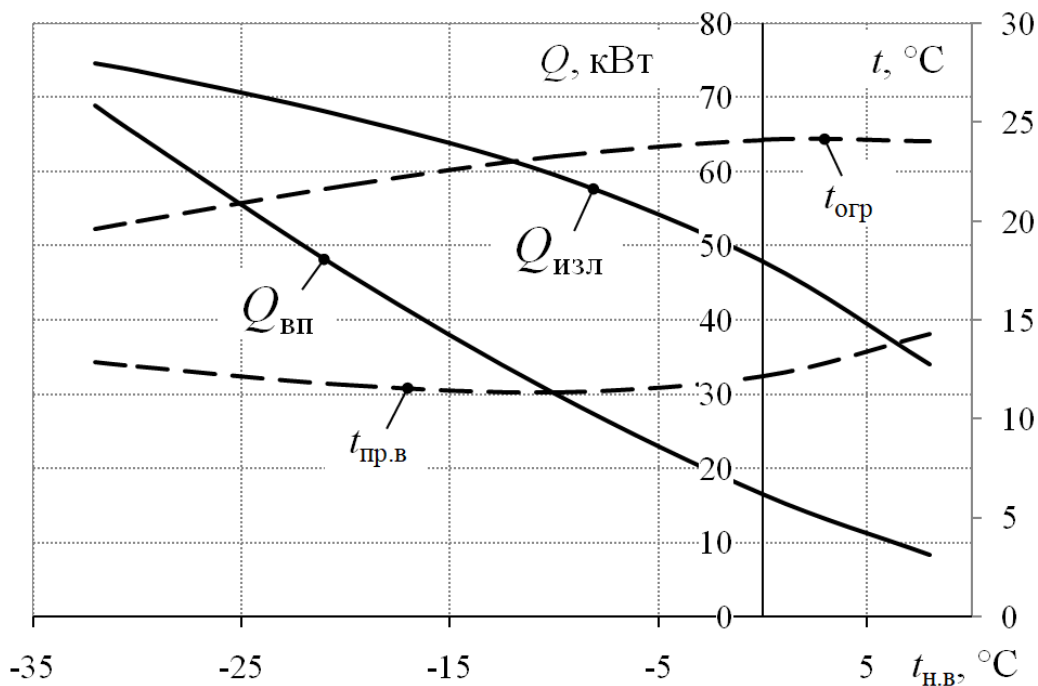


Рис. 3. Тепловая мощность газолучистого отопления зимней теплицы, подогревателя воздуха, температура приточного воздуха и ограждения теплицы

Исходные данные для выполнения расчета:

1. Размеры (габариты) теплицы: ширина $a = 7,45\text{ м}$; длина $b = 8,40\text{ м}$; высота $h = 3,80\text{ м}$.

2. Параметры поверхности почвы (огурцы до плодоношения в зимне-весенний оборот, согласно данным таблицы): температура $t_{\text{пов}} = 24\text{ °C}$; коэффициент поглощения $A_1 = 0,65$ (коэффициент отражения $R_1 = 0,35$); коэффициент теплового излучения (степень черноты) $\varepsilon_1 = A_1 = 0,65$.

3. Параметры ограждения: материал – сотовый поликарбонат с термическим сопротивлением ограждения $R_{\text{огр}} = 0,25\text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$; коэффициент поглощения $A_2 = 0,94$ (коэффициент отражения $R_2 = 0,06$); коэффициент теплового излучения (степень черноты) $\varepsilon_2 = A_2 = 0,94$.

4. Расчетные параметры внутреннего воздуха (табл.): температура $t_{\text{н.в.}} = 22\text{ °C}$; относительная влажность $\varphi_{\text{н.в.}} = 75\%$.

5. Расчетные параметры наружного воздуха для условий города Вологды [8]: температура $t_{\text{н.в.}} = -32\text{ °C}$; относительная влажность $\varphi_{\text{н.в.}} = 85\%$.

6. Параметры вентиляции: принудительная вентиляция с механическим пробуждением; кратность воздухообмена $n_{\text{в}} = 1,0\text{ м}^3/\text{мин}$ [7].

7. Параметры орошения: коэффициент орошения почвы $k_{\text{ор}} = 1$ (орошается вся поверхность почвы в теплице).

8. Лучистый КПД газового инфракрасного излучателя $\eta_{\text{Q}} = 0,80$.

Расчет газолучистого отопления промышленной теплицы «Фермер 7.5» (рис. 2) выполнен в математическом редакторе «Mathcad».

По итогам программного расчета газолучистого отопления промышленной теплицы «Фермер 7.5» получены следующие результаты:

1. Температура внутренней поверхности ограждения теплицы $t_{\text{огр}} = 19,6\text{ °C}$.

2. Температура приточного воздуха $t_{\text{пр.в.}} = 12,9\text{ °C}$. Расчетная тепловая мощность подогревателя воздуха $Q_{\text{вп}} = 68,9\text{ кВт}$.

3. Требуемая мощность инфракрасного излучения $Q_{\text{изл}} = 74,7\text{ кВт}$, тепловой поток от продуктов сгорания газообразного топлива $Q_{\text{yt}} = 18,7\text{ кВт}$.

4. Необходимый расход воды на полив почвы $G_{\text{пол}} = 67,9\text{ кг/ч}$.

5. Потери теплоты: через ограждение теплицы $Q_{\text{огр}} = 29,6\text{ кВт}$; с вентиляционным воздухом, уходящим из зимней теплицы в окружающую среду, $Q_{\text{вент}} = 62,0\text{ кВт}$; в грунт $Q_{\text{гр}} = 1,82\text{ кВт}$.

6. Потери теплоты от теплообмена излучением между поверхностью почвы и внутренней поверхностью ограждения теплицы $Q_{\text{луч}} = 1,02\text{ кВт}$.

7. Потери теплоты от конвективного теплообмена между внутренним воздухом и поверхностью почвы в теплице $Q_{\text{конв1}} = 0,04\text{ кВт}$; между внутренним воздухом и внутренней поверхностью ограждения теплицы $Q_{\text{конв2}} = 2,92\text{ кВт}$.

8. Потери теплоты, связанные с процессом испарения влаги с поверхности почвы в теплице, составили $Q_{\text{исп}} = 46,1\text{ кВт}$.

Предварительный подогрев наружного воздуха в калорифере перед его подачей в зимнюю теплицу привел к тому, что температура ограждения достигла необходимых значений. Кроме того, дополнительное

количество теплоты, полученное от продуктов сгорания газообразного топлива, позволило снизить тепловую нагрузку подогревателя воздуха. За счет существенного уменьшения тепловых потерь на нужды вентиляции (почти в два раза) тепловая мощность газолучистого отопления также достигла разумных пределов. Здесь стоит отметить, что вычисления выполнены для расчетных условий, т.е. при минимальной температуре наружного воздуха, согласно своду правил [8].

На рисунке 3 показана зависимость расчетной тепловой мощности газолучистого отопления $Q_{изл}$, Вт, и подогревателя воздуха $Q_{вп}$ от температуры наружного воздуха $t_{н.в}$, °С, в течение отопительного сезона. Дополнительными осями выступили температуры ограждения теплицы $t_{огр}$ и приточного воздуха $t_{пр.в}$.

Согласно рисунку 3, с ростом температуры наружного воздуха $t_{н.в}$, °С закономерно будут снижаться требуемая тепловая мощность газолучистой системы отопления $Q_{изл}$, Вт и необходимый расход теплоты на подогрев приточного воздуха $Q_{вп}$, так как тепловые потери через ограждение теплицы, на нужды вентиляции и в грунт начнут уменьшаться. Изменения температуры наружного воздуха $t_{н.в}$ не сильно скажутся на температуре ограждения $t_{огр}$ и приточного воздуха $t_{пр.в}$, что позволяет поддерживать практически постоянным тепловой режим теплицы и почвы. В среднем за отопительный период температура ограждения промышленной теплицы «Фермер 7.5» (рис. 2) и приточного воздуха соответственно составили $t_{огр} = 22,1$ °С и $t_{пр.в} = 12,5$ °С.

Литература

1. Липатов, А. В. Повышение эффективности систем отопления теплиц / А. В. Липатов, Е. В. Спиридо-

нова, А. Ф. Фролов // Инновационные технологии в строительстве, теплогазоснабжении и энергообеспечении. – 2017. – С. 108–112.

2. Узаков, Г. Н. Обоснование эффективности применения пиролизной установки для отопления теплиц / Г. Н. Узаков, Х. А. Давланов, Ю. Г. Узакова // Молодой ученый. – 2015. – № 19 (99). – С. 219–223.

3. Романова, М. И. Энергоэффективный метод использования излишек тепла солнечного коллектора / М. И. Романова, В. В. Шерстюков // Инженерный вестник Дона. – 2012. – № 4 (23). – С. 84.

4. Беляева, Е. А. Преимущество в использовании инфракрасной системы отопления теплиц / Е. А. Беляева, А. А. Хальметов // Проблемы и перспективы развития строительства, теплогазоснабжения и энергообеспечения. – 2018. – С. 46–48.

5. РД-АПК 1.10.09.01-14. Методические рекомендации по технологическому проектированию теплиц и тепличных комбинатов для выращивания овощей и рассады : утверждено врио директора Департамента научно-технологической политики и образования Минсельхоза России Вельматовым А. А. от 13.08.2014. – Москва : ФГБНУ «Росинформагротех», 2014. – 104 с.

6. СП 50.13330.2012. Свод правил. Тепловая защита зданий: актуализированная редакция СНиП 23-02-2003 : утвержден Минрегионом России от 30.06.2012 № 265 : введен 01.01.2012. – Москва : ФАУ ФЦС, 2012. – 96 с.

7. Климов, В. В. Оборудование теплиц для подсобных и личных хозяйств / В. В. Климов. – Москва : Энергоатомиздат, 1992. – 96 с.

8. СП 131.13330.2012. Свод правил. Строительная климатология: актуализированная редакция СНиП 23-02-99* : утвержден Минрегионом России от 30.06.2012 № 275 : введен 01.01.2013. – Москва : ФАУ ФЦС, 2015. – 120 с.

M. V. Pavlov

CALCULATION METHOD OF WINTER GREENHOUSE GAS-FIRED RADIANT HEATING WITH PRE-HEATING OF SUPPLY AIR

The article considers the option of gas-fired radiant heating for pre-heating of the outdoor air before being fed into the greenhouse in order to organize air exchange. The results of calculating the heating of a greenhouse with pre-heating of the supply air are presented.

Gas radiant heating, infrared emitter, air heater; soil, winter greenhouse.



М.В. Павлов, Д.Ф. Карнов, В.А. Князев
 Вологодский государственный университет

КАЧЕСТВЕННО-КОЛИЧЕСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ ТЕПЛОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ В СТРОИТЕЛЬНОЙ ТЕРМОГРАФИИ

В соответствии с действующим государственным стандартом результаты тепловизионного обследования зданий и сооружений в зависимости от поставленных задач могут быть разделены на качественные и количественные. В статье рассмотрены особенности качественного анализа тепловых изображений, полученных по итогам термографирования строительного объекта. Представлены существующие методики количественного анализа термограмм, взятые из действующих нормативных документов и методических рекомендаций, с конкретными примерами их использования.

Энергосбережение, энергетическая эффективность, тепловизионное обследование, объект контроля, термограмма.

С каждым следующим десятилетием вопросы энергосбережения и повышения энергетической эффективности объектов теплопотребления в жилищно-коммунальном секторе страны будут играть все большую роль. Переход на возобновляемые и альтернативные источники энергии происходит с учетом имеющегося энергетического потенциала государства крайне медленно в сравнении с другими странами мира. Инновационные технологии энергосбережения, к которым можно отнести пассивное домостроение, солнечную и ветровую энергетику, биотопливо, тепловые насосы, являются дорогостоящими решениями и для большей части России совершенно не рентабельны [5]. Поэтому в данный момент времени актуально не рассматривать революционные способы переустройства отечественной энергетической системы, а искать пути для снижения потребления невозобновляемых топливно-энергетических ресурсов жилым фондом страны. Для этого, в первую очередь, необходимо умение определять потенциал энергосбережения существующих объектов строительства. С решением задач по оценке теплотехнического состояния зданий и сооружений отлично справляются измерительные системы, работа которых основана на тепловом методе неразрушающего контроля – инфракрасной диагностике. Современные тепловизоры позволяют оперативно получать достоверную информацию о распределении радиационных температур, с помощью которой можно судить о тепловом состоянии объекта контроля [10].

В соответствии с государственным стандартом [3] тепловизионному контролю подвергаются наружные и внутренние поверхности ограждающих конструкций. Тепловизионная съемка проводится в отопительный сезон. При этом следует избегать атмосферных осадков, туманов, задымленности. Обследуемые поверхности не должны находиться в зоне прямого и отраженного солнечного облучения в течение 12 часов до проведения измерений. Термографирование не рекомендуется осуществлять, если значение инте-

грального коэффициента излучения поверхности объекта контроля менее 0,70. Места установки тепловизора выбирают таким образом, чтобы поверхность объекта находилась в прямой видимости под углом наблюдения не менее 60°. По обзорной термограмме наружной поверхности ограждающих конструкций выявляют участки с нарушенными теплозащитными свойствами, которые затем подвергают детальному термографированию с внутренней стороны ограждающих конструкций [1].

Результаты тепловизионной диагностики могут быть оценены как качественно, так и количественно [6]. В случае качественного анализа термограмм производится поиск тепловых аномалий по температурному перепаду в местонахождении предполагаемого дефекта и эталонной зоны [1]. Последняя должна выбираться аналогично контролируемой и находиться в тех же условиях теплообмена (располагаться вблизи обследуемого участка).

Существуют правила качественного анализа термограмм, которые позволяют повысить эффективность поиска и оценки тепловых аномалий [10]:

1. Дополнение термограммы видимым изображением (фотографией). Компьютерное совмещение видимого и теплового изображений.
2. При прочих равных условиях внутренний тепловизионный осмотр предпочтительнее наружной тепловизионной съемки.
3. Детальность изображения, качество термограммы ухудшается при удалении от объекта контроля. Кроме того, водяные пары, находящиеся в воздухе, поглощают длинноволновое инфракрасное излучение и, как следствие, искажают показания измерительного прибора. Тепловизионную съемку следует проводить на минимально возможном расстоянии от объекта контроля.
4. Неокрашенные металлические элементы зданий и сооружений выглядят, как правило, более холодными, чем на самом деле, за исключением ситуа-

ций, когда имеет место интенсивная внешняя подсветка.

5. Отопительные приборы, расположенные в заглубленной нише наружной стены, создают избыточные потери тепловой энергии через ограждения здания, которые могут быть ошибочно приняты за строительные дефекты.

6. Тепловые аномалии в области светопрозрачных конструкций могут быть обусловлены открытыми створками, форточками, фрамугами и др.

Качественный анализ тепловых изображений позволяет определить местонахождение и охарактеризовать в общих чертах дефект строительной конструкции. Данный вид оценки технического состояния объекта контроля основывается исключительно на температурном поле, которое формирует тепловизор, а точнее на разности показаний температур на однородном по конструктивным характеристикам элементе ограждения. Наличие резких перепадов температур и минимальных (или максимальных, в зависимости от места проведения тепловизионной съемки) температур, сосредоточенных в определенной области термограммы, дает все основания предполагать наличие тепловой аномалии, а значит, и дефект строительной конструкции.

Количественную оценку тепловых аномалий производят с целью установить степень их опасности для нормального функционирования здания. Обычно результаты количественного анализа сравнивают с эталонными значениями, которые, как правило, регламентированы различными нормативными документами (государственными стандартами, сводами правил и т.п.).

Рассмотрим некоторые варианты количественного анализа тепловых изображений, которые предлагают различные нормативные акты и рекомендательные документы (методические рекомендации).

В ранее упомянутом стандарте [3] количественный анализ тепловых изображений основан на расчете локальных относительных (по отношению к базовому участку) сопротивлений теплопередаче. Значение относительного сопротивления теплопередаче $\bar{R}(x, y)$ в выбранной точке на поверхности ограждающей конструкции определяется следующим образом:

– для внутренних обследований:

$$\bar{R}_{\text{вн}}(x, y) = 1 + \frac{\theta(x, y)}{t_{\text{вн}} - \tau_{\text{вн}}^{\circ} - \theta(x, y)}; \quad (1)$$

– для наружных обследований:

$$\bar{R}_{\text{н}}(x, y) = 1 + \frac{\theta(x, y)}{t_{\text{н}} - \tau_{\text{н}}^{\circ} - \theta(x, y)}, \quad (2)$$

где $\theta(x, y)$ – разность между температурой $t(x, y)$ изотермы, проходящей через точку с координатами x и y на соответствующей поверхности ограждающей конструкции, и температурой поверхности базового участка τ_{\circ} , °C; $t_{\text{вн}}$ и $t_{\text{н}}$ – соответственно температура внутреннего и наружного воздуха в зоне исследуемого фрагмента, °C; $\tau_{\text{вн}}^{\circ}$ и $\tau_{\text{н}}^{\circ}$ – соответственно темпера-

тура поверхности базового участка при внутренних и наружных обследованиях, °C.

При этом значение случайной относительной погрешности определения относительного сопротивления теплопередаче $\delta\bar{R} = \Delta\bar{R}/\bar{R}$ вычисляется соответственно по уравнениям:

– для внутренних обследований:

$$\delta\bar{R}_{\text{вн}} = \left| \frac{1}{t_{\text{вн}} - \tau_{\text{вн}}^{\circ}} \right| \sqrt{\left[\frac{\theta(x, y)}{t_{\text{вн}} - \tau_{\text{вн}}^{\circ}} \Delta t_{\text{вн}} \right]^2 + \left[\frac{\theta(x, y)}{t_{\text{вн}} - \tau_{\text{вн}}^{\circ}} \Delta \tau_{\text{вн}}^{\circ} \right]^2} + \Delta\theta^2; \quad (3)$$

– для наружных обследований:

$$\delta\bar{R}_{\text{н}} = \left| \frac{1}{t_{\text{н}} - \tau_{\text{н}}^{\circ}} \right| \sqrt{\left[\frac{\theta(x, y)}{t_{\text{н}} - \tau_{\text{н}}^{\circ}} \Delta t_{\text{н}} \right]^2 + \left[\frac{\theta(x, y)}{t_{\text{н}} - \tau_{\text{н}}^{\circ}} \Delta \tau_{\text{н}}^{\circ} \right]^2} + \Delta\theta^2, \quad (4)$$

где Δt , $\Delta \tau$ и $\Delta \theta$ – значения абсолютных случайных погрешностей определения температуры воздуха и базового участка, а также разностей температур поверхности ограждающей конструкции, °C.

Приведем пример расчета. Исходные данные: $t_{\text{н}} = -11,3$ °C; $\tau_{\text{н}}^{\circ} = -8,4$ °C; для «горячей» точки М6 $\theta(\text{М6}) = \tau_{\text{н}}^{\text{М6}} - \tau_{\text{н}}^{\circ} = -5,7 - (-8,4) = 2,7$ °C. Тогда по выражению (2) имеем:

$$\bar{R}_{\text{н}}(\text{М6}) = 1 + \frac{2,7}{-11,3 - (-8,4) - 2,7} = 0,518.$$

Таким образом, сопротивление теплопередаче аномальной зоны ограждающей конструкции почти в два раза меньше термического сопротивления базового участка наружной стены.

Случайная относительная погрешность измерений величины $\bar{R}_{\text{н}}$ при $\Delta t_{\text{н}} = \pm 0,5$ °C, $\Delta \tau_{\text{н}}^{\circ} = \pm 0,168$ °C и $\Delta \theta = \pm 0,282$ °C по выражению (4) составила:

$$\delta\bar{R}_{\text{н}} = \left| \frac{1}{-11,3 - (-8,4)} \right| \sqrt{\left[\frac{2,7}{-11,3 - (-8,4)} \cdot 0,5 \right]^2 + \left[\frac{2,7}{-11,3 - (-8,4)} \cdot 0,168 \right]^2} + 0,282^2 = 0,195.$$

Наиболее известным способом количественного анализа тепловых изображений является определение участков ограждающих конструкций с повышенными теплотермиями, согласно действующим сводам правил [7, 8]. В этом случае рассчитываются сопротивления теплопередаче R_0 , м² · °C/Вт, для базового и других характерных участков и сравниваются с требуемым значением. На данном этапе необходимо разделить ограждающие конструкции здания на стены, окна, цоколь и в дальнейшем для каждой из этих поверхностей производить отдельные вычисления сопротивления теплопередаче [4].

Участки ограждающих конструкций с повышенными тепловыми потерями выявляют путем сравнения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций, полученного в результате натурных измерений, с требуемым значением, определяемым в соответствии с формулой [8]:

$$R_o^{\text{норм}} = \frac{t_{\text{вн}} - t_{\text{н}}}{\Delta t_{\text{н}} \alpha_{\text{вн}}}, \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}, \quad (5)$$

где $t_{\text{вн}}$ – расчетная температура внутреннего воздуха, °C. Для жилых зданий принимается в зависимости от расчетной температуры наружного воздуха. В данном случае, согласно таблице [2], температура внутреннего воздуха будет равна $t_{\text{вн}} = 21$ °C; $t_{\text{н}}$ – расчетная температура наружного воздуха в холодный период года, °C. Принимается равной средней температуре наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92. Для климатических условий города Вологды, согласно таблице 3.1* [9], температура наружного воздуха составит $t_{\text{н}} = -32$ °C; $\Delta t_{\text{н}}$ – нормируемый температурный перепад, °C, между температурой внутреннего воздуха $t_{\text{вн}}$, °C, и температурой внутренней поверхности ограждающей конструкции $\tau_{\text{вн}}$, °C. Согласно таблице 5 [8], для наружных стен жилых зданий имеем перепад температур $\Delta t_{\text{н}} = 4,0$ °C; $\alpha_{\text{вн}}$ – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности конструкции, Вт/(м² · °C). По данным таблицы 4 [8] для наружных стен коэффициент теплоотдачи $\alpha_{\text{вн}} = 8,7$ Вт/(м² · °C).

В итоге нормируемое значение сопротивления теплопередаче наружной стены жилого здания по уравнению (5) составит:

$$R_o^{\text{норм}} = \frac{21 - (-32)}{4,0 \cdot 8,7} = 1,523 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}.$$

Для нахождения сопротивления теплопередаче по результатам натурных измерений можно воспользоваться следующим выражением:

$$R_o^{\text{факт}} = \frac{1}{\alpha_{\text{н}}} \frac{t_{\text{вн}} - t_{\text{н}}}{\tau_{\text{н}} - t_{\text{н}}}, \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}, \quad (6)$$

где $\alpha_{\text{н}}$ – коэффициент теплоотдачи наружной поверхности конструкции, Вт/(м² · °C). По данным [3] при скорости ветра $w_{\text{н}} = 1,0$ м/с коэффициент теплоотдачи $\alpha_{\text{н}} = 11$ Вт/(м² · °C); $\tau_{\text{н}}$ – температура наружной поверхности ограждающей конструкции, найденная по результатам термографирования, °C.

Рассмотрим наружную стену жилого здания. На реперном участке средняя температура поверхности стены равна $\tau_{\text{н}}^6 = -8,4$ °C, в зоне температурной аномалии – $\tau_{\text{н}}^{\text{М6}} = -5,7$ °C. Тогда по формуле (6) имеем результаты:

$$R_o^{\text{факт}} = \frac{1}{11} \cdot \frac{21,3 - (-11,3)}{-8,4 - (-11,3)} = 1,022 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт},$$

$$R_o^{\text{факт}} (\text{М6}) = \frac{1}{11} \cdot \frac{21,3 - (-11,3)}{-5,7 - (-11,3)} = 0,529 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}.$$

Таким образом, фактическое сопротивление теплопередаче наружной стены здания не соответствует санитарно-гигиеническим требованиям (5).

В заключение отметим несколько существенных и принципиальных моментов, касающихся качественно-количественной оценки тепловых изображений (тер-

мограмм), полученных в процессе термографирования различных объектов строительства и их конструктивных элементов. Во-первых, качественный анализ термограмм ограничивается информацией, содержащейся в самих тепловых изображениях, зафиксированных тепловизором. В этом случае идентификация точных температурных данных об объекте тепловизионного контроля не является обязательным условием, так как конечной целью качественного анализа термограмм является выявление дефектов. Во-вторых, количественная оценка тепловых изображений направлена на расчет конкретных теплотехнических параметров. Причем, количественные результаты термографирования сопровождаются компьютерной обработкой снятых термограмм в специализированных прикладных программных средах для определения температурных полей на поверхности объекта тепловизионного контроля. В-третьих, в строительной термографии на основе комплексного качественно-количественного анализа термограмм делают выводы по тепловому состоянию отдельных конструктивных элементов или всего объекта контроля.

Совокупное решение обозначенных задач и реализация возможностей качественно-количественной оценки термограмм в процессе строительного термографирования позволяют ответить на вопрос: соответствует ли объект контроля действующим требованиям по уровню тепловой защиты или нет? Если нет, то составляется список возможных энергосберегающих мероприятий, направленных на полное или частичное решение данной проблемы. К примеру, в случае обнаружения локальных (фрагментарных) избыточных тепловых потерь через наружные стены здания это может быть наружная тепловая изоляция стен с помощью напыления пенополиуретана с защитным покрытием или жидкого утеплителя.

Многочисленные апробации предлагаемого качественно-количественного метода оценки тепловых изображений, зафиксированных в процессе термографирования реальных строительных объектов и их элементов, подтверждают высокую и надежную эффективность его применения [1, 6], а также адекватны и не противоречат результатам, полученным по методикам и принципам, представленным в нормативных документах и методических рекомендациях [3, 4].

Литература

1. Вавилов, В. П. Инфракрасная термографическая диагностика в строительстве и энергетике: брошюра / В. П. Вавилов, А. Н. Александров. – Москва : НТФ Энергопрогресс, 2003. – 76 с.
2. ГОСТ 30494-2011. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях : введен 01.01.2013. – Москва : ФГУП Стандартинформ, 2013. – 12 с.
3. ГОСТ Р 54852-2011. Метод тепловизионного контроля качества теплоизоляции ограждающих конструкций : введен 01.05.2012. – Москва : Стандартинформ, 2012. – 16 с.
4. РД 153-34.0-20.364-00. Методика инфракрасной диагностики тепломеханического оборудования : введен 01.05.2000 / Производственная Лаборатория

ИК-техники ОАО «Фирма ОРГРЭС». – Москва, 2000. – 50 с.

5. Окунев, А. Ю. Современные подходы к тепловизионному обследованию строительных объектов / А. Ю. Окунев, Е. В. Левин, К. С. Шагинян // Жилищное строительство. – 2012. – № 6. – С. 7–9.

6. Основы тепловизионной диагностики теплопотребляющих объектов строительства : учебное пособие / А. А. Сеницын, Д. Ф. Карпов, М. В. Павлов. – Вологда : ВоГТУ, 2013. – 156 с.

7. СП 23-101-2004. Свод правил. Проектирование тепловой защиты зданий : утвержден ОАО ЦНИИ-промзданий и ФГУС ЦНС от 23.04.2004 № 01 : введен 01.06.2004. – Москва : ФГУП ЦПП, 2004. – 140 с.

8. СП 50.13330.2012. Свод правил. Тепловая защита зданий: актуализированная редакция СНиП 23-02-2003 : утвержден Минрегионом России от 30.06.2012 № 265 : введен 01.01.2012. – Москва : ФАУ ФЦС, 2012. – 96 с.

9. СП 131.13330.2012. Свод правил. Строительная климатология : актуализированная редакция СНиП 23-02-99* : утвержден Минрегионом России от 30.06.2012 № 275 : введен 01.01.2013. – Москва : ФАУ ФЦС, 2015. – 120 с.

10. Тепловизионная диагностика зданий : методические указания к практической работе / составители Т. Н. Немова, К. Д. Трофимов. – Томск : ТГАСУ, 2015. – 39 с.

M.V. Pavlov, D.F. Karpov, V.A. Knyazev

QUALITATIVE AND QUANTITATIVE ANALYSIS OF THERMAL IMAGES IN CONSTRUCTION THERMOGRAPHY

According to the existing state standard, the results of thermovision inspection of buildings and facilities depending on the tasks set can be divided into qualitative and quantitative. The article considers the features of qualitative analysis of thermal images obtained as a result of the project thermal mapping. The article presents the current methods of thermograms quantitative analysis taken from existing normative documents and methodological recommendations with specific examples of their use.

Energy saving, energy efficiency, thermal imaging, object of control, thermogram.



ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФИБРЫ ИЗ ПОЛИЭТИЛЕНТЕРЕФТАЛАТА ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ СВОЙСТВ ПОЛИСТИРОЛБЕТОНА

В статье рассматривается возможность и целесообразность применения фибры из ПЭТ-тары в составе полистиролбетона, а также способы получения такой фибры. Приведен сравнительный анализ результатов исследования прочностных и тепловых характеристик образцов полистиролбетона с ПЭТ-фиброй и без нее, а также обзор аналогов фибры для полистиролбетона.

Полиэтилентерефталат, фибра, полистиролбетон, прочностные характеристики, исследование, рециклинг.

Постановка проблемы. В наши дни, когда экологические проблемы не просто обсуждаются, но и решаются, очень важно использовать любые ресурсы вторично. К примеру, пластиковую тару (бутылки) из полиэтилентерефталата. К свойствам этого замечательного, но мало уважаемого экологами материала относятся: абсолютная влагостойкость, дешевизна, стойкость к воздействию органических растворителей, высокая температура плавления (+240°C), свойства диэлектрика и высокая механическая прочность. Анализ этих свойств, а также огромный объем данного материала на свалках, дает множество идей для применения ПЭТ-тары вторично, как вариант – в качестве фибры для полистиролбетона.

Анализ исследования и публикации. Стоит отметить, что применение фибры из ПЭТ-тары в составе полистиролбетона ранее не рассматривалось. Исследование носит передовой, инновационный характер, с целью дальнейшего патентования.

Целью публикации является исследование возможности и анализ целесообразности применения фибры из ПЭТ для улучшения свойств полистиролбетона.

Основные результаты исследования. Полистиролбетон – это композиционный материал, в состав которого входит портландцемент, пористый наполнитель – гранулы вспененного полистирола и вода. Этот бетон широко применим в строительстве, благодаря низким показателям теплопроводности и стоимости, сочетая в себе при этом и приемлемую прочность.

Однако данный материал довольно плохо работает на растяжение, как и любой бетон. Строители современности научились решать эту проблему не толь-

ко с помощью армирования, но и благодаря применению фибры. Фибра – это специальные волокна синтетике, металла, минералов и других материалов, обеспечивающие микроармирующую пространственную сетку, повышающую прочность бетона. Она должна иметь высокую механическую прочность, стойкость к воздействию влаги и химически активных компонентов смеси, а также малый вес.

Анализ свойств полиэтилентерефталата, являющегося сырьем для пластиковой тары, показал широкие возможности применения данного материала в качестве фибры для полистиролбетона. Нами было решено исследовать влияние добавления данного материала на прочность и теплопроводность этого вида бетона, путем испытаний образцов с включением в состав фибры и без нее.

В состав выбранного для исследования полистиролбетона входит (в расчете на м³): 300 кг цемента марки 500; 800 кг песка фракции 0,5; 1,1 м³ гранулированного полистирола; 200 л воды. Для равномерного наполнения смеси фиброй опытным путем было установлено, что на 1 м³ требуется от 10 до 20 кг фибры, в зависимости от параметров сечения ленты (из расчета на 1 л – количество фибры полученной из 2 бутылок объемом 0,5 л). Для исследования применялась фибра, полученная путем роспуска ПЭТ-бутылок на ленту толщиной до 3 мм и длиной от 18 до 30 мм.

После 28 суток твердения образцов, нами были произведены испытания на сжатие и теплопроводность (с использованием прибора ИТП МГ-4 100). Результаты исследований образцов с фиброй и без нее представлены в таблице.

Таблица

Результаты испытаний образцов бетонов на сжатие и теплопроводность

Название бетона	Прочность на сжатие, МПа	Коэффициент теплопроводности, Вт/(м*К)	Термическое сопротивление, (м ² *К)/Вт	Плотность, кг/м ³
Полистиролбетон	0,75	0,138	0,144	830
Полистирол фибробетон с применением фибры из ПЭТ тары	1,1	0,199	0,102	770

Итоги исследования. Подводя итоги исследования, хотелось бы отметить в первую очередь практическую пользу – нами был обнаружен материал, пригодный по своим характеристикам для использования во многих целях – от заливки стяжки пола, до утепления стен, при этом не требующий дорогостоящих материалов, имеющий возможность применения в индивидуальном строительстве. В ходе испытаний полистирол бетон с фиброй из ПЭТ-тары не только выдерживал в разы более сильные нагрузки в среднем до 11 кН, но и не разрушался при испытании, лишь сжимаясь, работая как упругий материал, возвращая свою форму после снятия нагрузки. Также нельзя не сказать о новизне нашей идеи – ранее продукты переработки пластиковых отходов, бутылок, еще не использовались в качестве фибры для полистиролбетона.

Способы получения ПЭТ фибры. В связи с новизной нашей идеи, промышленных способов получения такой фибры нет. Нами было разработано простое устройство для нарезки ПЭТ-бутылок на ленту толщиной от 2 до 3 мм. Схема его действия проста – бутылка, надетая на стержень, закрепленный под небольшим углом к основанию устройства, обрезанным от дна концом попадает на лезвие, установленное там же, и, вращаясь по спирали, распускается на ленту. Толщина такой ленты зависит от расстояния от лезвия до основания. Нами планируется разработка устройства, позволяющего получать ленту круглого сечения, представляющего собой перфорированный нагревающийся барабан для тары, который вращаясь, будет формировать из жидкого полиэтилентерефталата тонкую фибру.

Аналоги фибры для полистиролбетона. Сегодня на рынке строительных материалов существует огромный выбор разнообразных вариантов фибры, пригодной для использования в составе полистиролбетона. Однако наиболее широко распространены следующие варианты:

1) *Фибра из полипропилена.* Этот аналог созданной нами фибры получил самое широкое распространение. Позволяет увеличивать прочность полистиролбетона высокой плотности, на легких видах такого бетона не дает существенных изменений прочностных характеристик. Основным минусом является цена – фибро полистиролбетон такой плотности существенно дороже подобных по характеристикам видов бетонов. Также стоит отметить низкую температуру плавления полипропилена – 160°C, тогда как у предложенного нами ПЭТ – 240°C, что сравнимо с температурой плавления самого полистирола 230°C.

2) *Базальтовая фибра.* Данный тип фибры имеет огромное количество преимуществ – низкая цена, отличные прочностные характеристики, огнестойкость, экологичность. Фактически он не имеет недостатков, однако получение такой фибры довольно сложный процесс, предполагающий нагрев базальта до 1400°C. Нами же предложен более простой, а, следовательно, и экономичный способ получения фибры из сырья, пригодного к вторичному использованию.

3) *Стекловолоконная фибра.* Такая фибра отличается низкой ценой, хорошими прочностными характеристиками и огнестойкостью. Однако применение тако-

го материала ограничено – он обладает низкой стойкостью к воздействию щелочей, что в среде твердеющего бетона недопустимо.

Экономическая эффективность. Также после проведения всех испытаний нам стало интересно произвести экономический расчет эффективности применения данного материала в сравнении с другим вариантом полистирол фибробетона, а также керамзитобетоном. Беря в расчет кубометр материала можно назвать его стоимостью.

Итак: кубометр керамзитобетона в среднем по нашей области обойдется в 3000 р.

Кубометр полистирол бетона с фиброй из полипропилена – 3250 р. Стоимость фибры на 1 кубометр равна 270 р. (расход фибры для полистирол бетона 0,6–0,9 кг/м³)

Рассчитывая стоимость полученного нами варианта бетона, можно учитывать только стоимость полистирол бетона, так как фактическая стоимость фибры из бутылок стремится к нулю (стоимость ПЭТ-бутылок на рынке вторсырья равна 15–16 рублей за килограмм, расход фибры аналогичен расходу фибры из полипропилена). Тогда стоимость нашего варианта бетона приблизительно равна 2950 р.

Беря в расчет то, что для выполнения стяжки, без применения фибры, необходимо также и дополнительное армирование, а следовательно и затраты, можно с уверенностью говорить об экономической эффективности использования выдвинутого варианта.

Области применения. Как было сказано ранее, данный материал благодаря своим особым свойствам – трещиностойкости, повышенной прочности, влагостойкости, повышенной термостойкости (в сравнении с фиброй из полипропилена) – может иметь широкие границы применения – от изготовления штучных блоков, стяжек пола и монолитных плит, до применения в качестве материала ограждающих конструкций объектов, где необходимо применение материалов, не создающих радиопомех.

Вывод. Результаты испытаний говорят сами за себя – мы получили материал с новыми, лучшими прочностными характеристиками. Цель работы была достигнута – мы смогли на практике доказать возможность и целесообразность применения фибры из бутылок в полистирол бетоне.

В заключение хотелось бы отметить актуальность идеи – сегодня стало просто необходимым искать возможности для повторного использования всех имеющихся ресурсов, ведь чистота и целостность окружающего нас мира в наших руках.

Литература

1. ГОСТ 33929-2016. ПОЛИСТИРОЛБЕТОН. Технические условия : МКС 91.100.30 : введен 2017-04-01. – Текст : электронный // Техэксперт : информационно-справочная системв / Консорциум «Кодекс» (дата обращения: 26.11.2019). – Режим доступа: для авториз. пользователей.

2. ГОСТ 10180-2012. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам, МКС 91.100.30 : введен 2013-07-01. – Текст : электронный

// Техэксперт : информационно-справочная системв / Консорциум «Кодекс» (дата обращения: 26.11.2019). – Режим доступа: для авториз. пользователей.

3. Фибра для бетона – URL: <https://betonpro100.ru/instrumenty-i-materialy/fibrovolokno> (дата обращения: 11.05.19). – Текст : электронный.

4. Полипропиленовая фибра. – URL: <https://polimerinfo.com/polipropilen/fibra-dlya-betona-chto-eto-takoe.html> (дата обращения: 11.05.19) – Текст : электронный.

T.A. Polyakov, O.A. Povarova

THE USE OF FIBER FROM POLYETHYLENE TEREPHTHALATE TO IMPROVE THE PROPERTIES OF POLYSTYRENE CONCRETE

This article considers the possibility and feasibility of using PET fibers in polystyrene concrete, a comparative analysis of the results of a study of the strength and thermal characteristics of polystyrene concrete samples with and without PET fibers, and methods for producing such fibers, as well as an overview of fiber analogues for polystyrene concrete.

Polyethylene terephthalate, fiber, polystyrene concrete, strength characteristics, research, recycling.



РАСЧЕТ НАДЕЖНОСТИ БУРОИНЪЕКЦИОННЫХ СВАЙ С УШИРЕНИЕМ ПО КРИТЕРИЮ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ГРУНТА ОСНОВАНИЯ

Для количественной оценки безопасности эксплуатации свай в данной статье разработан метод расчета надежности буроинъекционных свай с уширением по критерию несущей способности грунта основания. В предложенном методе использован новый подход к возникновению и описанию сил трения-сцепления по боковой поверхности сваи, отличающийся от общепринятого тем, что силы трения-сцепления возникают не в результате «срыва» сваи, а в результате микроперемещений материала ствола сваи. Приведен числовой пример расчета надежности буроинъекционной сваи с уширением.

Надежность, буроинъекционная свая, уширение, теория нечетких множеств, силы трения-сцепления, механическая безопасность.

Свайные фундаменты применяются для многих зданий и сооружений на территории РФ и за рубежом. От безопасной работы свайного фундамента зависит безопасная работа всего сооружения.

По Межгосударственному стандарту (ГОСТ 27751-2014 «Надежность строительных конструкций и оснований») несущие элементы и строительные конструкции в целом должны отвечать требованиям безопасности их эксплуатации. Количественной мерой безопасности может служить значение их надежности, а одним из показателей надежности является вероятность безотказной работы. Под понятием надежности строительного объекта понимается его способность «выполнять требуемые функции в течение расчетного срока эксплуатации». Надежность строительного объекта определяется через надежность каждого несущего элемента объекта с учетом их взаимодействия. Для этого рассматриваются условные механические системы с последовательным, параллельным и смешанным соединением элементов систем. Одним из элементов системы является основание фундамента, в частности, из буроинъекционных свай.

Расчет надежности одиночной сваи является необходимым условием для расчета надежности свайного основания фундамента. В настоящее время получили развитие различные методы расчетов надежности. Так, ГОСТ 27751-2014 рекомендует применять вероятностно-статистические методы для обоснования нормативных и расчетных характеристик материалов, грунтов оснований, нагрузок и т.д. Однако применение этих методов по ГОСТ 27751-2014 допускается «при наличии эффективных вероятностных методик учета случайной изменчивости основных параметров» в расчетных математических моделях предельных состояний по первой и второй группам предельных состояний. Это означает, что объем исходной статистической информации о случайных величинах и об их изменчивости должен быть полным в понятиях теории математической статистики и теории вероятностей.

На практике расчетов надежности несущих элементов конструкций, в том числе буроинъекционных свай

(и тем более одной сваи), зачастую не удается получить требуемую согласно ГОСТ 27751-2014 по объему статистическую информацию о контролируемых параметрах. В связи с этим, нашли свое применение альтернативные методы расчетов надежности, которые дают менее информативный результат и построены на новых теориях математического анализа. Так, в расчетах надежности строительных конструкций применяются методы, основанные на теории возможностей [1], теории случайных множеств, теории свидетельств Демпстера-Шефера [2] и другие. Применительно к расчетам надежности свай оснований фундаментов использованы новые методы расчетов в работах [3, 4].

Расчет буроинъекционных свай с уширением на нижнем конце сваи по несущей способности грунта основания в соответствии с СП 24.13330.2011 «Свайные фундаменты» производится по формуле:

$$F_d = \gamma_c (\gamma_{cR} RA + u \sum \gamma_{cf} f_i h_i), \quad (1)$$

значения параметров в (1) можно найти в СП 24.13330.2011.

Отметим лишь, что A – площадь в месте наибольшего диаметра уширения; u – периметр поперечного сечения ствола сваи и R – расчетное сопротивление грунта под уширением, зависящее от вида грунта и глубины H под уширением.

Расчет надежности сваи определяется по значениям надежности сваи по прочности (несущей способности) материала сваи, несущей способности грунта основания и по осадке. В данной статье рассматривается расчет надежности сваи по несущей способности грунта основания. Расчет надежности сваи по несущей способности материала сваи можно найти в работе [4].

Математическую модель предельного состояния для расчетов надежности можно записать в виде:

$$\tilde{F}_p \leq \tilde{F}_d, \quad (2)$$

где волнистой линией обозначены случайные величины (или нечеткие переменные в терминах теории возможностей); F_p – расчетная или контролируемая нагрузка на сваю.

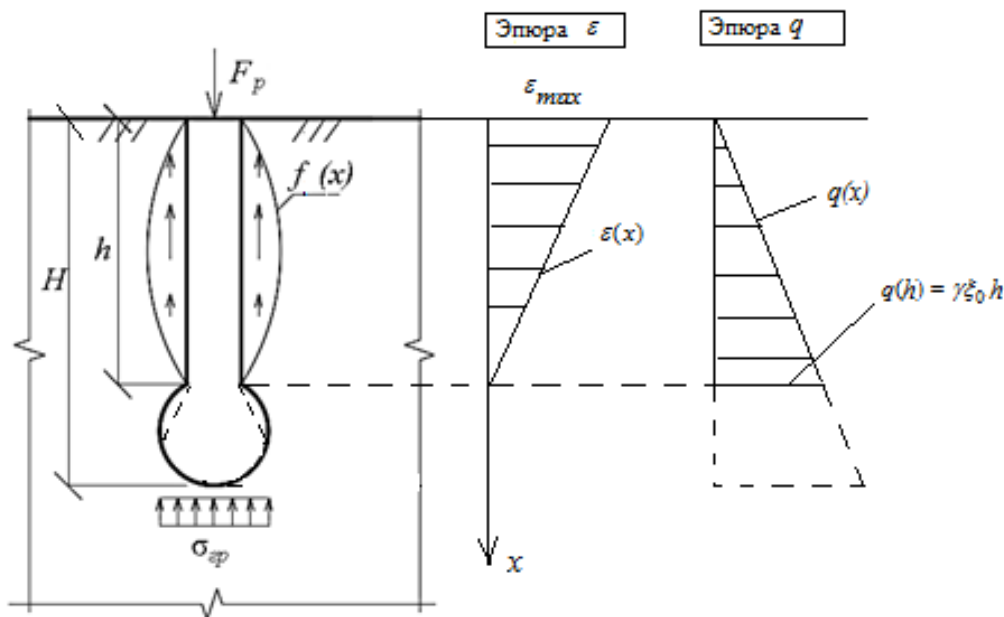


Рис. 1. Расчетная схема висячей сваи с уширением

Возможная расчетная схема работы сваи в грунте основания представлены на рисунке 1. По [4] силы трения-сцепления $f(x)$ на поверхности висячей сваи определяются по формуле: $f(x) = \varepsilon(x)q(x)\varphi$, где $\varepsilon(x)$ – относительная деформация материала сваи по длине; $q(x)$ – боковое давление грунта на сваю, $q(x) = \gamma\xi_0 x$; φ – безразмерный коэффициент, учитывающий контактное взаимодействие материала поверхности сваи и грунта основания.

Рассмотрим вариант работы сваи в однородном грунте и определение ее несущей способности F_d по несущей способности грунта. Из условия равновесия сваи в грунте под нагрузкой F_d в состоянии покоя при линейном законе изменения деформации материала сваи [4] и полном использовании сил $f(x)$ на всей длине сваи до уширения имеем:

$$F_d = \sigma_{sp}A + u \int_0^h \varepsilon_{\max} \frac{h-x}{h} \gamma \xi_0 x \varphi dx. \quad (3)$$

По [4] значение φ находится по результатам испытаний пробной сваи при длине участка сваи h до уширения на нижнем конце сваи, как показано на рисунке 1. Для этого свая нагружается возрастающей нагрузкой с одновременным измерением деформаций материала сваи в нескольких точках по длине сваи до тех пор, пока значение h не достигнет уширения. Благодаря малой высоте уширения и его криволинейной формы, влиянием отрицательных сил трения-сцепления на высоте уширения сваи будем пренебрегать. В этом случае по [4] будем иметь: $\varphi = \frac{6EA}{u\gamma\xi_0 h^2}$,

где A и E – площадь сечения и модуль упругости материала сваи.

В дальнейшем примем A, R, h, u, E, ξ_0 детерминированными величинами. Значение коэффициента бокового давления ξ_0 определяется по формуле $\xi_0 = \mu_0 / (1 - \mu_0)$, значения параметра μ_0 для различных грунтов можно найти в [5].

Для предельной нагрузки F_d примем напряжение σ_{sp} в (3) равным расчетному сопротивлению грунта R , используя для этого информацию в таблице 7.2 СП 24.13330.2011. Расчетное сопротивление грунта является детерминированной величиной. Тогда после интегрирования (3) получим:

$$F_d = RA + u\varepsilon_{\max}\gamma\xi_0\varphi\frac{h^2}{6}, \quad (4)$$

где ε_{\max} находится из $\varepsilon_{\max} = \frac{F_d}{EA}$ в месте пересечения сваи с поверхностью грунта. Из (4) имеем:

$$F_d \left(1 - u\gamma\xi_0\varphi\frac{h^2}{6EA} \right) = RA$$

или

$$F_d = RA \left(1 - u\gamma\xi_0\varphi\frac{h^2}{6EA} \right). \quad (5)$$

Из (2), с обозначением случайных величин волнистой линией над символами, получим:

$$\tilde{F}_p - \frac{RA}{\left(1 - u\tilde{\gamma}\tilde{\xi}_0\tilde{\varphi}\frac{h^2}{6EA} \right)} \leq 0. \quad (6)$$

Введем обозначения $\tilde{F}_p = X$, $\tilde{\gamma}\tilde{\xi}_0 = Y$, $u\tilde{\varphi}\frac{h^2}{6EA} = Z$. Тогда (6) примет вид:

$$\tilde{F}_p - \frac{RA}{(1 - YZ)} \leq 0. \quad (6')$$

Примем для описания нечетких переменных X, Y, Z функцию распределения возможностей с аналитическим видом:

$$\pi_X(x) = \exp\left[-\left(\frac{x-a_x}{b_x}\right)^2\right], \quad (7)$$

где $a_x = 0,5 \cdot (X_{\max} + X_{\min})$ – «условное среднее»; $b_x = 0,5(X_{\max} - X_{\min})/\sqrt{-\ln\alpha}$ – мера «рассеяния», где X_{\max} и X_{\min} – наибольшее и наименьшее значение во множестве значений $\{x\}$ нечеткой переменной X , полученных из результатов измерений; $\alpha \in [0;1]$ – уровень среза (риска), значением которого задаются, например по рекомендациям, приведенным в [6]. Графическое представление функции и некоторые ее параметры показаны на рисунке 2.

Обратную функцию от $\pi_X(x)$ найдем из (7) в виде $x = a_x \pm b_x\sqrt{-\ln\alpha}$ или $x = a_x \pm b_x\beta$, где $\beta = \sqrt{-\ln\alpha}$. Аналогичные выражения будут и для нечетких переменных Y, Z .

Расчет надежности по математической модели (6') проведем с использованием принципа обобщения Л. Заде из теории нечетких множеств [7]. Формируем из (6') нечеткую переменную T как функцию от нечетких аргументов X, Y, Z в виде:

$$T = X - \frac{RA}{(1-YZ)} \leq 0. \quad (8)$$

Графический вид функции $\pi_T(t)$ неизвестен, но она характеризуется значениями a_t, b_t, α , как и $\pi_X(x)$. Условная «средняя» a_t определяется по (8) в виде $a_t = a_x - \frac{RA}{(1-a_y a_z)}$, с левой ветвью $t \leq a_t$ и

правой ветвью $t > a_t$ функции $\pi_T(t)$, а обратная функция t от T будет определяться через обратные функции x, y, z от X, Y, Z , которые имеют вид обратной функции x от $\pi_X(x)$, описанной выше. Для левой и правой ветвей функции $\pi_T(t)$ имеем:

$$t_{лев} = (a_x + b_x\beta) - \frac{RA}{[1 - (a_y - b_y\beta)(a_z - b_z\beta)]} \leq 0, \quad (9)$$

$$t_{пр} = (a_x - b_x\beta) - \frac{RA}{[1 - (a_y + b_y\beta)(a_z + b_z\beta)]} \leq 0, \quad (10)$$

где $\beta = \sqrt{-\ln\pi_T(t)} = \sqrt{-\ln\alpha}$. Перед « b » в $t_{лев}$ ставят знак минус в числителе, а в знаменателе плюс, если от этой величины значение левой ветви в (9) возрастает, а в (10) наоборот. При $t = a_t$ имеем $\pi_T(t) = 0$ или $\beta = 0$. По (9) при выполнении $a_t \leq 0$ значение возможности безотказной работы балки по принимается $R=1$. Возможность отказа Q (для правой ветви функции $\pi_T(t)$) найдем по значению β , полученного из (10) при $t_{пр} = 0$, которое соответствует наименьшей расчетной надежности или наибольшей обеспеченности. По результатам решения (10), при $t_{пр} = 0$ находят β_{\min} по абсолютному значению и возможность отказа $Q = \exp(-\beta_{\min}^2)$. В [1] нечеткая переменная характеризуется мерами возможности R и необходимости N . В понятиях надежности, необходимость N безотказной работы свои равна $N=1-Q$. Надежность как мера безопасности характеризуется интервалом $[N; R]$ или в вероятностных показателях $[\underline{P}; \bar{P}]$, где \underline{P} и \bar{P} – нижнее и верхнее значение вероятности безотказной работы.

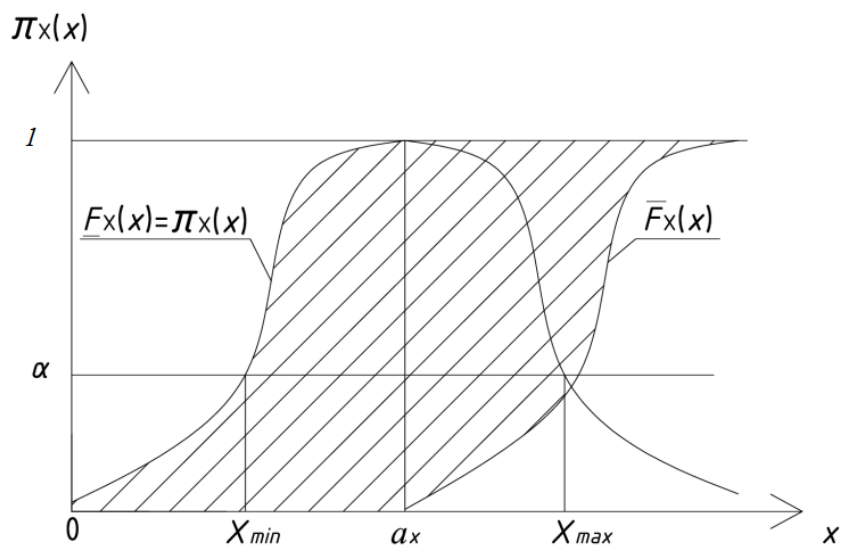


Рис. 2. График функции распределения возможностей $\pi_X(x)$

Пример. Пусть известно: $A=0,16 \text{ м}^2$; $R=3,5 \text{ МПа}$; $X = \{3000; 3100; 3040\} \text{ кН}$; $Y = \{3,16; 3,10; 3,22\} \text{ кН/м}^3$; $Z = \{0,268; 0,270; 0,266\} \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{кН}$. Вычислим параметры функций распределения нечетких переменных: $a_x = 3050 \text{ кН}$; $a_y = 3,16 \text{ кН/м}^3$; $a_z = 0,268 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{кН}$; $b_x = 28,9 \text{ кН}$; $b_y = 34,68 \text{ Н/м}^3$; $a_z = 1,156 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{кН}$ – при уровне среза (риска) $\alpha = 0,05$. Т.к. $a_t = -6,07 \cdot 10^{-5} \leq 0$, то возможность безотказной работы $R=1$. Из (10), с применением MathCAD, вычисляем значения $\beta = \{-331,15; 2,09; 115,81\}$. По абсолютному значению $\beta_{\min} = 2,09$. Возможность отказа $Q = \exp(-\beta_{\min}^2) = \exp(-2,09^2) = 0,013$. Необходимость безотказной работы $N=1-Q=1-0,013=0,987$. Надежность характеризуется интервалом $[0,987; 1]$.

Для оценки надежности сваи по всем критериям работоспособности следует условно рассматривать сваю как механическую систему с последовательным соединением элементов. И надежность сваи в целом определяется по формулам:

$$\left\{ \begin{array}{l} \underline{P} = \max\left(0, \sum_{i=1}^n \underline{P}_i - (n-1)\right), \\ \overline{P} = \min(\overline{P}_i) \end{array} \right.$$

где \underline{P}_i и \overline{P}_i – нижняя и верхняя граница вероятности безотказной работы сваи по i -му критерию работоспособности; n – количество критериев работоспособности.

Выводы:

1. Разработан новый метод расчета надежности буринъекционной сваи с уширением по несущей способности грунта основания при ограниченной статистической информации о контролируемых параметрах с использованием положений теории нечетких множеств.

2. Использован новый подход к описанию сил трения-сцепления по боковой поверхности сваи, возникающих из условия микроперемещений материала сваи, а не из условия «срыва» сваи.

3. На числовом примере расчета надежности проиллюстрирован алгоритм расчета надежности буринъекционной сваи с уширением по критерию несущей способности грунта основания.

4. Разработанный метод может быть использован при оценке надежности условной механической системы «основание-здание-сооружение», а также для количественной оценки безопасности эксплуатации свайных фундаментов и включен в нормативную литературу по расчетам надежности буринъекционных свай.

Литература

1. Dubois, D. Possibility theory / D. Dubois, H. Prade. – New York : Plenum Press, 1988. – 411 p.
2. Shafer, G. A. Mathematical Theory of Evidence / G. A. Shafer. – Princeton University Press, 1976. – 297 p.
3. Уткин, В. С. Расчет надежности сваяч железобетонных свай в грунте основания / В. С. Уткин. // Строительная механика и расчет сооружений. – 2018. – № 1 (276). – С. 31–36.
4. Уткин, В. С. Расчет надежности сваяч по критерию несущей способности грунта основания / В. С. Уткин // Строительство: наука и образование. – 2018. – № 4 (30). – С. 1.
5. Цытович, Н. А. Механика грунтов / Н. А. Цытович. – Москва : Высшая школа, 1983. – 288 с.
6. Уткин, В. С. Значение уровня среза (риска) при расчете надежности несущих элементов вероятностным методом / В. С. Уткин, С. А. Соловьев, А.А. Каберова // Строительная механика и расчет сооружений. – 2015. – № 6. – С. 63–67.
7. Zadeh, L. Fuzzy Sets as the Basis for a Theory of Possibility / L. A. Zadeh // Fuzzy Sets and Systems. – 1978. – №. 1. – P. 3–28.

V.S. Utkin, S.A. Solovyev

RELIABILITY ANALYSIS OF CFA PILES WITH UNDER-REAM ON SOIL BASE BEARING CAPACITY

Pile foundations are used for many buildings and structures in the Russian Federation and abroad. The safe operation of entire structure depends on the safe operation of a pile foundation. The article describes the reliability analysis method for CFA (Continuous flight augering) piles with under-reams on criterion of soil base bearing capacity for the quantitative assessment of piles safety. The new approach is used to describe the friction-adhesion forces on the pile lateral surface, which differs from the generally accepted fact that the friction-adhesion forces do not arise as a result of pile "failure", but as a result of micro-displacements of the pile trunk material. The developed method is based on the fuzzy sets theory provisions, which increases its practical significance, because it can be used with limited statistical information about the controlled parameters. Numerical example of reliability analysis is given for CFA piles with the under-ream.

Reliability, CFA pile, under-ream, fuzzy sets theory, friction, mechanical safety.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Аваев Александр Алексеевич

кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры высшей математики Череповецкого государственного университета (Череповец, Россия)
chsu@chsu.ru

Белоусова Виктория Павловна

кандидат технических наук, доцент кафедры технологии машиностроения Вологодского государственного университета (Вологда, Россия)
belousova.v2011@mail.ru

Бормосов Николай Александрович

кандидат технических наук, доцент кафедры автомобилей и автомобильного хозяйства Вологодского государственного университета (Вологда, Россия)
bormosovna@vogu35.ru

Втулкин Александр Андреевич

обучающийся Инженерно-строительного института Вологодского государственного университета (Вологда, Россия)
bormosovna@vogu35.ru

Дианов Даниил Сергеевич

обучающийся Института машиностроения, энергетики и транспорта Вологодского государственного университета (Вологда, Россия)
daniil.dianov@gmail.com

Дианов Сергей Владимирович

кандидат технических наук, старший научный сотрудник Вологодского научного центра Российской академии наук (Вологда, Россия)
dianov.sv@mail.ru

Дымов Николай Эдуардович

старший преподаватель кафедры автомобилей и автомобильного хозяйства Вологодского государственного университета (Вологда, Россия)
dymovne@vogu35.ru

Карпов Денис Федорович

старший преподаватель кафедры теплогазоводоснабжения Вологодского государственного университета (Вологда, Россия)
karpov_denis_85@mail.ru

Князев Владимир Алексеевич

обучающийся Инженерно-строительного института Вологодского государственного университета (Вологда, Россия)
kknyazev.95@gmail.com

Крюкова Диана Юрьевна

кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры информатики и математики Вологодского института права и экономики ФСИН России (Вологда, Россия)
Magnyi@list.ru

Куницкий Вячеслав Андреевич

обучающийся Инженерно-строительного института Вологодского государственного университета (Вологда, Россия)
globee@mail.ru

Лукин Кирилл Сергеевич

обучающийся Инженерно-строительного института Вологодского государственного университета (Вологда, Россия)
kirilllulukinrus@gmail.com

Лукин Сергей Владимирович

доктор технических наук, профессор кафедры теплогазоводоснабжения и вентиляции Вологодского государственного университета (Вологда, Россия)
s.v.luk@yandex.ru

Махмудова Лейла Расуловна

обучающийся Инженерно-строительного института Вологодского государственного университета (Вологда, Россия)
leyla.mahmudova2011@yandex.ru

Никитина Елена Михайловна

старший преподаватель кафедры архитектуры и градостроительства Вологодского государственного университета (Вологда, Россия)
elniki1@yandex.ru

Осипов Сергей Юрьевич

кандидат технических наук, доцент кафедры менеджмента Тверского государственного технического университета, докторант Череповецкого государственного университета (Тверь, Россия)
osipov-seregejj@rambler.ru

Осипов Юрий Романович

доктор технических наук, профессор, профессор кафедры технологии машиностроения Вологодского государственного университета, заслуженный деятель науки и техники РФ (Вологда, Россия)
iur.osipov2011@yandex.ru

Павлов Михаил Васильевич

кандидат технических наук, доцент кафедры теплогазоводоснабжения Вологодского государственного университета (Вологда, Россия)
pavlov_kaftgv@mail.ru

Поварова Ольга Александровна

старший преподаватель кафедры строительства Череповецкого государственного университета (Череповец, Россия)
boliaa@mail.ru

Погорелец Александра Викторовна

обучающийся Института машиностроения, энергетики и транспорта Вологодского государственного университета (Вологда, Россия)
pogorelec.aleksa@gmail.com

Поляков Тимофей Александрович

обучающийся Инженерно-технического института Череповецкого государственного университета (Череповец, Россия)
polyackov.t@yandex.ru

Попов Игорь Павлович

старший преподаватель кафедры технологии машиностроения, металлорежущих станков и инструментов Курганского государственного университета (Курган, Россия)
ip.porow@yandex.ru

Ревунов Дмитрий Сергеевич

главный инженер проекта ООО НПФ «КРУГ» (Пенза, Россия)
revunovd@mail.ru

Семёнов Анатолий Дмитриевич

доктор технических наук, доцент кафедры информационно-измерительной техники и технологий Пензенского государственного университета (Пенза, Россия)
sad-50@mail.ru

Соловьев Сергей Александрович

старший преподаватель, аспирант кафедры промышленного и гражданского строительства Вологодского государственного университета (Вологда, Россия)
ser6sol@yandex.ru

Сорокин Арсений Николаевич

кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры автоматизации и вычислительной техники Вологодского государственного университета (Вологда, Россия)
arseny_sorokin@mail.ru

Суконщиков Алексей Александрович

кандидат технических наук, доцент, зав. кафедрой автоматизации и вычислительной техники Вологодского государственного университета (Вологда, Россия)
avt@vogu35.ru

Уткин Владимир Сергеевич

доктор технических наук, профессор, профессор кафедры промышленного и гражданского строительства Вологодского государственного университета, заслуженный работник высшей школы (Вологда, Россия)
utkinvogtu@mail.ru

Федотовский Сергей Борисович

кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры управляющих и вычислительных систем Вологодского государственного университета (Вологда, Россия)
fsb1960@yandex.ru

Чертовской Владимир Дмитриевич

доктор технических наук, профессор, профессор кафедры информационных систем Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина) (Санкт-Петербург, Россия)
vdchertows@mail.ru

Швецов Анатолий Николаевич

доктор технических наук, профессор, профессор кафедры информатики и информационных технологий Вологодского государственного университета (Вологда, Россия)
smithv@mail.ru

Яковлев Сергей Алексеевич

доктор технических наук, профессор, профессор кафедры информационных систем Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина) (Санкт-Петербург, Россия)
VVCehanovsky@mail.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Avaev Aleksandr Alekseevich

Candidate of Engineering, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Advanced Mathematics of Cherepovets State University (Cherepovets, Russia)
chsu@chsu.ru

Belousova Viktoriya Pavlovna

Candidate of Engineering, Associate Professor of the Department of Machine Building of Vologda State University (Vologda, Russia)
belousova.v2011@mail.ru

Bormosov Nikolay Aleksandrovich

Candidate of Engineering, Associate Professor of the Department of Automobiles and Automobile industry of Vologda State University (Vologda, Russia)
bormosovna@vogu35.ru

Vtulkin Aleksandr Andreevich

Student of Civil Engineering Institute of Vologda State University (Vologda, Russia)
bormosovna@vogu35.ru

Dianov Daniil Sergeevich

Student of Machine Building, Energy Industry and Transport Insitute of Vologda State University (Vologda, Russia)
daniil.dianov@gmail.com

Dianov Sergey Vladimirovich

Candidate of Engineering, senior research associate of Vologda Scientific Centre of the Russian Academy of Science (Vologda, Russia)
dianov.sv@mail.ru

Dymov Nikolay Eduardovich

Senior lecturer of the Department of Automobile and Automobile Industry of Vologda State University (Vologda, Russia)
dymovne@vogu35.ru

Karpov Denis Fyodorovich

Senior lecturer of the Department of Heat, Gas and Water Supply of Vologda State University (Vologda, Russia)
karpov_denis_85@mail.ru

Knyazev Vladimir Alekseevich

Student of Civil Engineering Institute of Vologda State University (Vologda, Russia)
kknyazev.95@gmail.com

Kryukova Diana Yuryevna

Candidate of Engineering, Senior lecturer of the Department of Information Technology and Matematics of Vologda Institute of Law and Economics of Federal Penitentiary Service of Russia (Vologda, Russia)
Magnyi@list.ru

Kunitsky Vyacheslav Andreevich

Student of Civil Engineering Institute of Vologda State University (Vologda, Russia)
globee@mail.ru

Lukin Kirill Sergeevich

Student of Civil Engineering Institute of Vologda State University (Vologda, Russia)
kirilllukinrus@gmail.com

Lukin Sergey Vladimirovich

Doctor of Engineering, Professor of the Department of Heat, Gas and Water Supply and Ventilation of Vologda State University (Vologda, Russia)
s.v.luk@yandex.ru

Makhmudova Leyla Rasulovna

Student of Civil Engineering Institute of Vologda State University (Vologda, Russia)
leyla.mahmudova2011@yandex.ru

Nikitina Elena Mikhailovna

Senior lecturer of the Department of Architecture and Urban Development of Vologda State University (Vologda, Russia)
elniki1@yandex.ru

Osipov Sergey Yurievich

Candidate of Engineering, Associate Professor of the Department of Management of Tver State University, PhD student of Cherepovets State University (Tver, Russia)
osipov-seregejj@rambler.ru

Osipov Yuriy Romanovich

Doctor of Engineering, Professor, Professor of the Department of Machine Building of Vologda State University, Honoured Scientist and Engineer of the Russian Federation (Vologda, Russia)
iur.osipov2011@yandex.ru

Pavlov Mikhail Vasilyevich

Candidate of Engineering, Associate Professor of the Department of Heat, Gas and Water Supply of Vologda State University (Vologda, Russia)
pavlov_kaftgv@mail.ru

Povarova Olga Aleksandrovna

Senior lecturer of the Department of Construction of Cherepovets State University (Cherepovets, Russia)
boliaa@mail.ru

Pogorelets Aleksandra Viktorovna

Student of Machine Building, Energy Industry and Transport Institute of Vologda State University (Vologda, Russia)
pogorelec.aleksa@gmail.com

Polyakov Timofey Aleksandrovich

Student of Construction Technical Institute of Cherepovets State University (Cherepovets, Russia)
polyakov.t@yandex.ru

Popov Igor Pavlovich

Senior lecturer of the Department of Machine Building Technology, Metalcutting Machines and Tools of Kurgan State University (Kurgan, Russia)
ip.popov@yandex.ru

Revunov Dmitry Sergeevich

Chief engineer of the project of scientific production company KRUG LLC (Penza, Russia)
revunovd@mail.ru

Semyonov Anatoliy Dmitriyevich

Doctor of Engineering, Associate Professor of the Department of Information and Measuring Machines and Technology of Penza State University (Penza, Russia)
sad-50@mail.ru

Solovyov Sergey Aleksandrovich

Senior lecturer, post graduate student of the Department of Industrial and Civil Construction of Vologda State University (Vologda, Russia)
ser6sol@yandex.ru

Sorokin Arseniy Nikolayevich

Candidate of Engineering, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Automation and Computing Technology of Vologda State University (Vologda, Russia)
arseny_sorokin@mail.ru

Sukonschikov Aleksey Aleksandrovich

Candidate of Engineering, Associate Professor, Head of the Department of Automation and Computing Technology of Vologda State University (Vologda, Russia)
avt@vogu35.ru

Utkin Vladimir Sergeevich

Doctor of Engineering, Professor, Professor of the Department of Industrial and Civil Construction of Vologda State University, Honorary Figure of Russian Higher Education (Vologda, Russia)
utkinvogtu@mail.ru

Fedotovskiy Sergey Borisovich

Candidate of Engineering, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Managing and Computing Systems of Vologda State University (Vologda, Russia)
fsb1960@yandex.ru

Chertovskoy Vladimir Dmitriyevich

Doctor of Engineering, Professor, Professor of the Department of Information Systems of Saint-Petersburg State Electrotechnical University LETI named after V.I. Ulyanov (Lenin) (Saint-Petersburg, Russia)
vdchertows@mail.ru

Shvetsov Anatoliy Nikolayevich

Doctor of Engineering, Professor, Professor of the Department of Information Technology and Information Technology of Vologda State University (Vologda, Russia)
smithv@mail.ru

Yakovlev Sergey Alekseevich

Doctor of Engineering, Professor, Professor of the Department of Information Systems of Saint-Petersburg State Electrotechnical University LETI named after V.I. Ulyanov (Lenin) (Saint-Petersburg, Russia)
VVCehanovsky@mail.ru

Научное издание

ВЕСТНИК ВОЛОГОДСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА

Серия: Технические науки
№ 4 (6) / 2019

Главный редактор А. А. Кочкин

Свидетельство о регистрации СМИ: ПИ № ФС77-75456 от 05.04.2019 г.
выдано Федеральной службой по надзору в сфере связи,
информационных технологий и массовых коммуникаций
(Роскомнадзор)

Подписано в печать 17.12.2019. Выпуск в свет 25.12.2019. Формат 60 x 84/8
Уч.-изд. л. 8,12. Усл. печ. л. 11,25. Тираж 67 экз. Заказ № 367. Бесплатно

ФГБОУ ВО «Вологодский государственный университет»
160000, Вологодская область, город Вологда, улица Ленина, дом 15

Отпечатано: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
«Вологодский научный центр Российской академии наук»
(ФГБУН ВолНЦ РАН)
160014, г. Вологда, ул. Горького, 56а
Тел.: 59-78-03, e-mail: common@vscc.ac.ru