

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.

**№ 2 (12) / 2021**

СЕРИЯ: ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

ВОЛОГДА  
2021

№ 2 (12) / 2021 / ИЮНЬ. 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](http://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, зав. кафедрой промышленного и гражданского строительства, доцент 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:**

*П.Ю. Бочкарев*, доктор технических наук, профессор Волгоградского государственного технического университета,

*В.А. Горбунов*, доктор физико-математических наук, профессор 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 молочнохозяйственной академии им. Н.В. Верещагина,

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

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

*С.А. Мясникова*, кандидат технических наук, зам. директора Инженерно-строительного института Вологодского государственного университета,

*С.Н. Овсянников*, доктор технических наук, зав. кафедрой архитектуры гражданских и промышленных зданий, профессор Томского государственного архитектурно-строительного 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,

*А.А. Суконщикова*, кандидат технических наук, доцент Вологодского государственного университета,

*Н.Н. Трушин*, доктор технических наук, профессор Тульского государственного университета,

*С.Л. Шишигин*, доктор технических наук, профессор 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. Михайлюк*, кандидат педагогических наук, доцент Вологодского государственного университета

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

**Оригинал-макет** – Н.В. Подхомотова

**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](mailto:vestniktech@vogu35.ru)

**ISSN 2658-3399**

© ФГБОУ ВО «Вологодский  
государственный университет», 2021

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**

SCIENTIFIC JOURNAL

First published in 2018

**No. 2 (12) / 2021**

SERIES: TECHNICAL SCIENCES

VOLOGDA  
2021

No. 2 (12) / 2021 / JUNE. It is issued 4 times a year.

Scientific 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](http://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, Head of the Department of Industrial and Civil Construction, Associate Professor 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:**

*P.Yu. Bochkarev*, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Volgograd State Technical University,

*V.A. Gorbunov*, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor of 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,

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

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

*S.A. Myasnikova*, Candidate of Engineering, Deputy Director of Civil Engineering Institute of Vologda State University,

*S.N. Ovsyannikov*, Doctor of Technical Sciences, Head of the Department of Architecture of Civil and Industrial Buildings, Professor of Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering,

*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),

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

*A.A. Sukonshchikov*, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Vologda State University,

*N.N. Trushin*, Doctor of Technical Sciences, Professor of Tula State University,

*S.L. Shishigin*, Doctor of Technical Sciences, 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. Mikhailyuk, 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](mailto:vestniktech@vogu35.ru)

## Содержание

### МАШИНОВЕДЕНИЕ, СИСТЕМЫ ПРИВОДОВ И ДЕТАЛИ МАШИН

<i>Бормосов Н.А., Кочкарева Т.А., Белянина А.Ю.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ КОНВЕКТИВНОГО ТЕПЛООБМЕНА ПРИ ЖИДКОСТНОМ ОХЛАЖДЕНИИ ПЛОСКОГО ВЕРТИКАЛЬНО РАСПОЛОЖЕННОГО ГУММИРОВАННОГО ОБЪЕКТА .....	7
<i>Казакова И.С.</i> УЧЕТ УПРОЧНЕНИЯ СТАЛИ В ТОНКОСТЕННЫХ ХОЛОДНОДЕФОРМИРУЕМЫХ ПРОФИЛЯХ.....	12
<i>Колпаков В.Н.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ КОНТАКТНЫХ ПРОЦЕССОВ В МЕХАНИЗМЕ ПРИВОДА ПОРШНЕЙ РАДИАЛЬНО-ПОРШНЕВОЙ ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ МАШИНЫ .....	16
<i>Никифоров В.Е., Никитин Л.А.</i> УПРАВЛЕНИЕ И РЕЖИМ ВАКУУМНО-ИМПУЛЬСНОЙ СУШКИ ПРЕССОВАННЫХ РАСТИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ.....	19
<i>Попов И.П.</i> ПРИВЕДЕНИЕ В ДВИЖЕНИЕ МНОГОЗВЕННОЙ КИНЕМАТИЧЕСКОЙ ЦЕПИ С УПРУГИМИ СВЯЗЯМИ.....	23
<i>Яняк С.В., Комиссарова И.И.</i> ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА И АНАЛИЗ РЕЖУЩИХ СВОЙСТВ ТВЕРДЫХ СПЛАВОВ НА ОСНОВЕ КАРБИДА ТИТАНА СО СТАЛЬНЫМИ СВЯЗКАМИ.....	28

### ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

<i>Кузьмин А.Г., Умаров М.Ф.</i> ИНТЕГРАЦИЯ СОВРЕМЕННЫХ МЕДИЦИНСКИХ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ.....	32
<i>Полянский А.М., Чукалова Д.А.</i> ПРОГРАММНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ПЛАНИРОВАНИЯ ПРОГРАММНЫХ ПРОЕКТОВ.....	36
<i>Саниев А.З.</i> ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОЦЕДУРЫ АНАЛИЗА КОМПЬЮТЕРНОГО ПОЧЕРКА НА ОСНОВЕ ПРИНЦИПОВ САМООРГАНИЗАЦИИ.....	40
<i>Суконщиков А.А., Ногтев Д.Н.</i> СИСТЕМА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ РЕКИ СУХОНЫ.....	43
<i>Чертовской В.Д.</i> ПОСТРОЕНИЕ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ СИСТЕМ С ПОМОЩЬЮ ВЕБ-ПОРТАЛОВ И ВЕБ-САЙТОВ.....	45
<i>Швецов А.Н.</i> ФОРМИРОВАНИЕ МОДЕЛИ САМООРГАНИЗУЮЩИХСЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ.....	55

### СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

<i>Каптюшина А.Г., Кононов И.С., Бакунина А.Н.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЩЕБНЯ ИЗ БЕТОННОГО ЛОМА .....	59
<i>Копыльцов А.В., Павлушков И.В., Поварова О.А.</i> ПРОМЫШЛЕННАЯ АПРОБАЦИЯ ФОРМОВАНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПЕРЕМЫЧЕК ИЗ ПОЛИФРАКЦИОННОГО МЕЛКОЗЕРНИСТОГО ШЛАКОБЕТОНА .....	63
<i>Кочкин А.А., Иванова А.В.</i> СНИЖЕНИЕ ШУМА В ПОМЕЩЕНИЯХ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ И РЕКОНСТРУКЦИИ ЗДАНИЙ .....	67
<i>Поляков Т.А., Полуэктова Н.А., Поварова О.А.</i> РАЗРАБОТКА СПОСОБА ПОЛУЧЕНИЯ КОМПОЗИТА ИЗ ОТХОДОВ ЛЕСНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ БЕЗ ПРИМЕНЕНИЯ ФЕНОЛФОРМАЛЬДЕГИДНЫХ СМОЛ .....	70
<i>Попов И.П.</i> ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СЫПУЧЕГО МАТЕРИАЛА .....	73
<i>Шорин В.А., Мясникова С.А.</i> УЛУЧШЕНИЕ СВОЙСТВ БИТУМНОЙ ЭМУЛЬСИИ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ОБРАБОТКОЙ.....	77
<i>Сведения об авторах.....</i>	80

## CONTENTS

### MACHINING, DRIVE SYSTEMS AND MACHINE PARTS

<i>Bormosov N.A., Kochkareva T.A., Belyanina A.Y.</i> STUDY OF CONVECTIVE HEAT TRANSFER DURING LIQUID COOLING OF A FLAT VERTICALLY LOCATED RUBBERIZED OBJECT .....	7
<i>Kazakova I.S.</i> ACCOUNTING FOR STEEL HARDENING IN THIN-WALLED COLD-FORMED PROFILES .....	12
<i>Kolpakov V.N.</i> STUDY OF CONTACT PROCESSES IN DRIVE MECHANISM OF PISTON IN RADIAL-PISTON HYDRAULIC MACHINE .....	16
<i>Nikiforov V.E., Nikitin L.A.</i> CONTROL AND MODE OF PULSED VACUUM DRYING OF PRESSED PLANT MATERIALS .....	19
<i>Popov I.P.</i> DRIVING A MULTI-LINK KINEMATIC CHAIN WITH ELASTIC LINKS .....	23
<i>Ianiak S.V., Komissarova I.I.</i> EXPERIMENTAL ESTIMATION AND ANALYSIS OF CUTTING PROPERTIES OF TITANIUM CARBIDE-BASED HARD ALLOYS WITH STEEL BONDS.....	28

### COMPUTER SCIENCE, COMPUTER ENGINEERING AND MANAGEMENT

<i>Kuzmin A.G., Umarov M.F.</i> INTEGRATION OF MODERN MEDICAL INFORMATION TECHNOLOGIES .....	32
<i>Polianskii A.M., Chukalova D.A.</i> SOFTWARE AND METHODOLOGICAL COMPLEX FOR PLANNING SOFTWARE PROJECTS .....	36
<i>Sapiev A.Z.</i> ORGANIZATION OF THE PROCEDURE OF COMPUTER HANDSCRIPTION ANALYSIS BASED ON SELF-ORGANIZATION PRINCIPLES.....	40
<i>Sukonschikov A.A., Nogtev D.N.</i> CONTAMINATION PREDICTION SYSTEM FOR THE SUKHONA RIVER.....	43
<i>Chertovskoy V.D.</i> CONSTRUCTION OF DISTRIBUTED SYSTEMS VIA WEBPORTALS AND WEBSITES .....	45
<i>Shvetsov A.N.</i> FORMATION OF SELF-ORGANIZING INTELLIGENT INFORMATION AND TELECOMMUNICATION SYSTEMS MODEL .....	55

### CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE

<i>Kaptyushina A.G., Kononov I.S., Bakunina A.N.</i> STUDY OF PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF CRUSHED STONE FROM CONCRETE SCRAP .....	59
<i>Kopyltsov A.V., Pavlushkov I.V., Povarova O.A.</i> INDUSTRIAL APPROBATION OF THE FORMATION OF REINFORCED CONCRETE LINKS FROM POLYFRACTIONAL FINE-GRAINED SLAG CONCRETE .....	63
<i>Kochkin A.A., Ivanova A.V.</i> REDUCTION OF NOISE IN ROOMS DURING THE USE AND RECONSTRUCTION OF BUILDINGS.....	67
<i>Polyakov T.A., Poluektova N.A., Povarova O.A.</i> DEVELOPMENT OF A METHOD FOR OBTAINING COMPOSITE FROM FOREST INDUSTRY WASTE WITHOUT USING PHENOL-FORMALDEHYDE BINDING AGENTS .....	70
<i>Popov I.P.</i> DETERMINATION OF BULK MATERIAL DYNAMIC PROPERTIES.....	73
<i>Shorin V.A., Myasnikova S.A.</i> IMPROVING PROPERTIES OF BITUMEN EMULSION WITH ULTRASOUND TREATMENT .....	77
<i>Information about the authors</i> .....	83



*Н.А. Бормосов, Т.А. Кочкарева, А.Ю. Белянина*  
*Вологодский государственный университет*

## ИССЛЕДОВАНИЕ КОНВЕКТИВНОГО ТЕПЛООБМЕНА ПРИ ЖИДКОСТНОМ ОХЛАЖДЕНИИ ПЛОСКОГО ВЕРТИКАЛЬНО РАСПОЛОЖЕННОГО ГУММИРОВАННОГО ОБЪЕКТА

Проведены исследования теплообмена при жидкостном охлаждении плоского вертикально расположенного гуммированного объекта. Установлены основные характерные особенности изучаемого процесса, проведена оценка влияния отдельных определяющих параметров на интенсивность теплоотдачи для дальнейших экспериментальных исследований, предназначенных для разработки практических обобщенных рекомендаций.

Теплообмен, гуммирование, плотность, теплоемкость, динамическая вязкость, коэффициент теплопроводности, охлаждение.

При подаче струи жидкости на гуммированную поверхность образуется пленка жидкости. Процессам гидродинамики и теплообмена при течении жидкостей в тонких пленках посвящено много теоретических и экспериментальных исследований [3]. Особенность пленки, образованной струей капель, состоит в том, что капли непрерывно возмущают пленку, вместе с тем внося в нее жидкую массу. Интенсивность теплообмена зависит от следующих факторов:

- плотность потока жидкости (плотность орошения),
- скорость капель,
- функция распределения капель по размерам,
- угол между направлением движения капель и поверхностью пленки (угол атаки) и т.п.

Исследования теплообмена при жидкостном охлаждении гуммированного объекта ведутся, как правило, в двух направлениях – охлаждение плоского горизонтально и вертикально расположенного гуммированного объекта.

При охлаждении **плоского вертикально расположенного гуммированного объекта** направление потока капель относительно гравитационной пленки может быть различным: нормальным к направлению течения (рис. 1а), спутным (рис. 1б), противоточным (рис. 1в). Режим течения пленки также может быть различным. Он будет устанавливаться под влиянием воздействия капель. Спутная струя может вносить в пленку импульс, ускоряющий пленку. При этом ускорение будет зависеть от угла атаки – при малых углах  $\varphi$  возможно существенное ускорение и повышение интенсивности теплоотдачи.

При орошении пленки конусной струей угол атаки неодинаков для различных капель (рис. 1г), что усложняет процесс и приводит к неравномерному

воздействию струи на пленку. При орошении горизонтальной поверхности охлаждающей жидкостью снизу (потолочное расположение) также возможно образование пленки, отвод жидкости из которой осуществляется периодически срывающимися каплями (рис. 1д). Характер взаимодействия системы капель с пленкой зависит также от соотношения размеров капель и толщины пленки. В частности, при стекании пленки вдоль вертикальной поверхности при достаточно низкой температуре (отсутствие кипения в пленке) интенсивность процесса будет определяться преобладающим влиянием гидродинамических факторов: процессом течения пленки и динамическим воздействием капель. Здесь возможны три варианта:

- капли «мягко» оседают на поверхность пленки, обеспечивая только приток массы;
- капли турбулизируют поверхностный слой пленки;
- капли с достаточным импульсом проникают сквозь пленку, достигая твердой поверхности теплообмена. Механизм теплообмена и динамики в таких пленках будет различным и зависящим от степени внешнего воздействия.

Экспериментальные исследования влияния угла падения струи жидкости и расхода воды на коэффициент теплоотдачи проводились на установке, принципиальная схема которой аналогична установке в работе [3].

Основной частью экспериментальной установки является рабочий участок, представляющий собой гуммированную пластину. В эксперименте использовались резинометаллические образцы с обкладками из резины на основе НК+СКБ марки 2566 толщиной  $\delta_{об} = 4,5$  мм, в качестве основы использовалась сталь марки Ст3 при толщине стального слоя  $\delta_{ст} = 2$  мм.

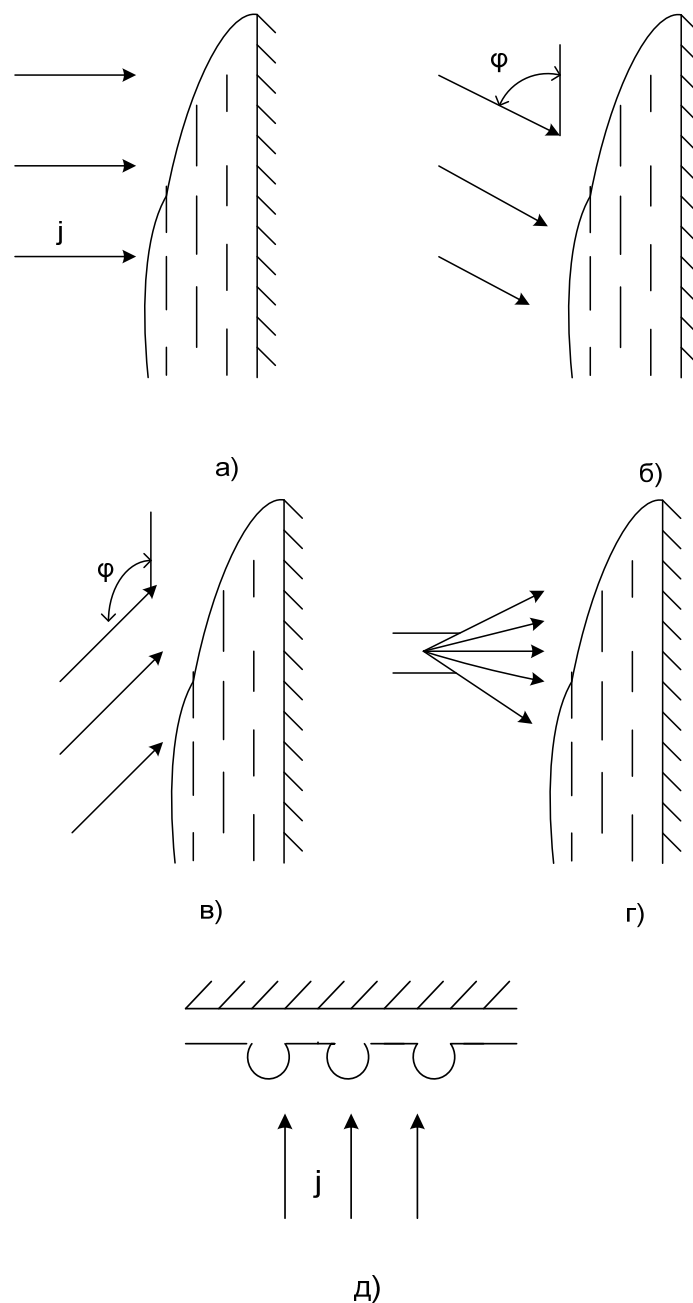


Рис. 1. Схема взаимодействия потока капель с пленкой на охлаждаемой поверхности при различном направлении потока ( $j$  – плотность орошения):  
 а – нормальное к направлению течения пленки; б – спутное; в – противоточное;  
 г – орошение конусной струей; д – потолочное расположение (жидкость подается снизу на горизонтальную поверхность)

Пластина крепилась к задней стенке камеры размерами  $880 \times 500 \times 400$  мм, изготовленной из листовой нержавеющей стали толщиной 3 мм, имеющей окна для освещения и визуального наблюдения процесса. Обеспечивалась герметичность крепления пластины к стенке, а также гидро- и теплоизоляция задней поверхности пластины. Пластина в камере охлаждалась диспергированной водой, подаваемой из центробежной форсунки. Рабочий участок нагревался электрическим током от понижающего трансформатора, вода в форсунке (диаметр сопла 4 мм) подавалась из расходного бака вихревым насосом через коллектор и расходомерную диафрагму.

Отсекающая диафрагма ограничивает факел распыляемой жидкости до пределов рабочего участка.

В ходе эксперимента измерялись локальные и полные значения тепловыделения, температура пластины, местные плотности потока орошения, а также расход воды, попадающей на пластину, температура воды при выходе из форсунки и среды в камере.

Цель исследования заключалась в том, чтобы установить основные характерные особенности изучаемого процесса, оценить влияние отдельных определяющих параметров на интенсивность теплоотдачи и на основании полученных результатов разработать методику дальнейших экспериментальных исследова-

ний, предназначенных для разработки практических обобщенных рекомендаций.

В исследовании анализировалась локальная теплоотдача от вертикальной поверхности с температурой 423÷473 К к воде с температурой 277÷287 К, подаваемой из центробежно-струйной форсунки по нормали к поверхности или под углом 65 и 15° сверху.

В качестве показателя интенсивности процесса использовался коэффициент теплоотдачи, определяемый выражением

$$\bar{\alpha}(x) = \frac{\bar{q}(x)}{[\bar{T}_c(x) - T_{0ж}]},$$

где сглаженное значение температуры охлаждаемой поверхности –

$$\bar{T}_c(x) = \frac{1}{x} \int_0^x T_c(x) dx,$$

где  $T_c(x)$  – определенная в опыте температура поверхности;  $q(x)$  – локальное значение плотности теплового потока;  $T_{0ж}$  – температура воды на выходе из форсунки (которая согласно проведенной ранее оценке незначительно отличалась от средней температуры капель, поступающих в пленку).

Теплоотдача в рассматриваемом процессе определяется совокупностью величин, которые условно можно разделить на две группы: относящиеся к пленке и относящиеся к потоку капель.

К первой группе относятся физические параметры жидкости: плотность ( $\rho$ ), теплоемкость ( $c_p$ ), динамическая вязкость ( $\mu$ ), коэффициент теплопроводности ( $\lambda$ ), ускорение силы тяжести ( $g$ ), координата  $x$  сечения, для которого определяется коэффициент теплоотдачи. Ко второй группе относятся параметры, характеризующие поток капель: плотность орошения ( $j$ ), скорость капель ( $\omega_k$ ), средний радиус капель ( $R_{03}$ ), угол атаки струи капель ( $\varphi$ ). Силовое взаимодействие капель с поверхностью пленки предполагает учет влияния на теплоотдачу коэффициента поверхностного натяжения ( $\sigma$ ). Таким образом, имеем зависимость

$$\bar{\alpha} = f(\rho, \mu, c_p, \lambda, g, x, j, \omega_k, R_{03}, \varphi, \sigma).$$

В соответствии с этой функциональной зависимостью выбирались семь чисел подобия, используемые при обобщении результатов и аппроксимации данных по теплоотдаче в области отсутствия влияния теплового потока по теплоотдаче к пленке, а также характерные особенности данного процесса [1, 2]:

- Нуссельта ( $Nu$ ), учитывающее размер жидкой пленки;
- Рейнольдса ( $Re$ ), учитывающее скорость жидкости в пленке ( $\omega$ ) и толщину пленки ( $\delta$ );
- Вебера ( $We$ ), учитывающее локальные значения плотности орошения;
- Фруда ( $Fr$ ), отражающее воздействие капель на пленку при различных углах атаки;
- Галилея с координатой  $Ga_x$  и радиусом капли  $Ga_R$ , которые трактуются как условные геометрические симплексы, составленные из двух указанных размеров и линейного масштаба;
- Прандля ( $Pr$ ), отражающее влияние угла атаки для различных режимов.

Три числа подобия  $Re$ ,  $We$  и  $Fr$  отражают соотношение между четырьмя силами, актуальными для динамики рассматриваемого процесса: инерционными

ми, силами вязкого трения, тяжести и поверхностного натяжения.

Экспериментальные данные аппроксимированы зависимостью

$$Nu = C_\varphi Re^{-0,25} We^{1,33-1,25 \cos \varphi} Fr^{0,75 \cos \varphi} Ga_R^{0,33} Ga_x^{-0,17} Pr^{0,5} \left(\frac{Pr_{ж}}{Pr_c}\right)^{0,2}, \quad (1)$$

значение константы  $C_\varphi$  зависит от угла  $\varphi$ . Так, при  $\varphi = 90^\circ$ ,  $C_\varphi = 3,36 \cdot 10^8$ , при  $\varphi = 60^\circ$ ,  $C_\varphi = 5,10 \cdot 10^3$ , при  $\varphi = 15^\circ$ ,  $C_\varphi = 4,30 \cdot 10^{-2}$ .

Отклонение экспериментальных точек происходит в зависимости от чисел  $Re$ ,  $We$  и угла атаки струи. Связь числа  $Re$  как критерия режима течения с числом  $We$  выглядит следующим образом:

$$Re = kWe^{0,73} \cdot 10^7,$$

здесь  $k = 0,31$  и  $0,22$  для  $\varphi = 90$  и  $60^\circ$  соответственно.

Большому значению числа  $We$  соответствует более высокое «критическое» значение числа  $Re$  при одном и том же угле атаки. Что касается влияния угла атаки на процесс перехода к псевдотурбулентному режиму течения, то здесь трудно сделать достаточно обоснованное заключение из-за недостатка информации, содержащейся в экспериментальных данных. Можно лишь отметить тенденцию, которая выражается в необходимости создать более высокое значение потока жидкости в струе для получения заданного «критического» значения числа  $Re$  при уменьшенном угле атаки; эта тенденция в особенности явно проявляется при больших значениях расхода.

Находящаяся под воздействием ядра струи верхняя половина пластины покрыта в этом случае интенсивно возмущенной пленкой (теплоотдача здесь существенно выше, чем на нижней половине), но эти возмущения, по-видимому, затухают по мере движения пленки вниз; в этом случае для перехода к псевдотурбулентному режиму нужно увеличить подачу жидкости (или повернуть ось струи ближе к нормали).

Пределы изменения определяющих чисел подобия в экспериментах:

$$\begin{aligned} 10 &\leq Re \leq 545, \\ 1,5 \cdot 10^{-7} &\leq We \leq 2,6 \cdot 10^{-5}, \\ 4,13 \cdot 10^4 &\leq Fr \leq 11,8 \cdot 10^4, \\ 21 &\leq Ga_R \leq 53, \\ 4,6 \cdot 10^8 &\leq Ga_x \leq 9,12 \cdot 10^{11}. \end{aligned}$$

В качестве характерной температуры принималась температура жидкости на выходе из форсунки ( $T_{0ж}$ ) – эта величина незначительно изменялась в опытах. Число  $Pr_c$  соответствовало средней температуре поверхности стенки на участке пластины длиной  $x$ .

Константы  $C_\varphi$  в формуле (1) существенно различаются для углов  $\varphi = 90$ ,  $65$  и  $15^\circ$ , однако величина  $\cos \varphi$ , введенная в формулу (1), позволяет рассчитать теплоотдачу в промежуточных зонах ( $90^\circ > \varphi > 65^\circ$  и  $65^\circ > \varphi > 15^\circ$ ) по двум «смежным» константам  $C_\varphi$  и тем самым оценить значение коэффициента теплоотдачи в данной промежуточной зоне.

Как уже отмечалось, при температуре орошаемой поверхности пластины  $T_c \approx 333$  К (что соответствует температурному напору в эксперименте, равному примерно 323 К) происходит существенное изменение процесса: возникает влияние на теплоотдачу теплового потока (или температурного напора). Если зафиксировать

все упоминавшиеся ранее факторы, определяющие интенсивность теплоотдачи, и осуществлять режимы с постепенно нарастающим тепловым потоком, то коэффициент теплоотдачи также будет увеличиваться. Эффект этот меняется для различных углов атаки струи, а также зависит от массового расхода жидкости в струе.

Возрастание теплоотдачи при увеличении теплового потока имеет место при пузырьковом кипении жидкости. Можно предполагать, что в пленке возникает «раннее» кипение, несмотря на то, что температура стенки ниже температуры насыщения. Это возможно при локальных понижениях давления до давления насыщения при температурах в пристенной области около 333 К и выше (для 333 К давление насыщения воды составляет примерно 0,02 МПа). Как уже отмечалось, понижение давления может происходить в результате удара крупных капель, не потерявших скорость в процессе движения от сопла форсунки до пленки; при этом возможны кавитационные эффекты в области растекания жидкости, ударившейся о стенку капли (для струи идеальной жидкости скорость растекания равна скорости движения до удара).

Расчет теплоотдачи по модели прогрева пленки показывает, что в условиях эксперимента пленка прогревается практически полностью (время прогрева пренебрежимо мало по сравнению с временем пробега пленки). Коэффициент теплоотдачи, рассчитанный по такой модели, падает вдоль поверхности, и теплоотдача ниже, чем регистрируемая в опытах. Таким образом, модель прогрева ламинарной пленки не объясняет ни характера изменения теплоотдачи вдоль поверхности, ни высокой интенсивности процесса теплообмена. Следовательно, одного эффекта осаждения на поверхность пленки холодных капель недостаточно для того, чтобы объяснить интенсивность охлаждения поверхности струей диспергированной жидкости.

**Ударная модель.** Проанализируем теплообмен пленки, созданной и возмущаемой крупными каплями (рис. 2). Количество капель, падающих в единицу времени на единицу поверхности (плотность счетного потока), можно оценить через плотность орошения:

$$n = \frac{j}{m_i},$$

где  $m_i = \frac{4}{3}\pi\rho R_{03}^3$  – это средняя масса одной капли.

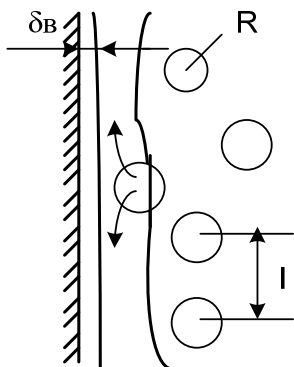


Рис. 2. Схема орошения для «ударной» модели

Если расстояние между каплями в потоке равно  $l$ , то период падения можно представить в виде  $\Delta\tau = l/\omega_k$ .

Для оценки толщины вязкого подслоя используется соотношение

$$\delta_v/\lambda \sim 5\sqrt{v/(\omega_k l)}, \quad (2)$$

где

$$l/\omega_k = \Delta\tau = 1/(n\omega_k^2)^{1/3}. \quad (3)$$

С учетом (3) для толщины вязкого подслоя можно записать:

$$\delta_v = 5\sqrt{\frac{v\left(\frac{4}{3}\pi R_{03}^3\right)\rho^{1/3}}{\omega_k^{2/3}j^{1/3}}}. \quad (4)$$

Коэффициент теплоотдачи для такой модели  $\alpha \sim \lambda/\delta_v$ .

С учетом соотношения для вязкого подслоя выражение для коэффициента теплоотдачи принимает вид

$$\alpha \approx 0,2\sqrt{\frac{\lambda^2\omega_k^{2/3}j^{1/3}}{R_{03}v\rho^{1/3}}}. \quad (5)$$

Из последнего соотношения следует, что коэффициент теплоотдачи ( $\alpha$ ) пропорционален плотности орошения ( $j$ ) в степени 1/6 и скорости капель ( $\omega_k$ ) в степени 1/3. Если допустить, что форсунка дает равномерный факел по всем направлениям, то неравномерность плотности потока в факеле форсунки объясняется неоднородностью поля скоростей. Такое предположение позволяет считать, что скорость капли пропорциональна плотности орошения. Тогда из соотношения (5) следует  $\alpha \sim j^{1/3}$ . При прочих равных условиях интенсивность теплоотдачи должна возрастать с увеличением плотности орошения.

Расчеты по ударной модели позволяют достаточно верно в среднем описать изменение коэффициента теплоотдачи для направления струи, нормального относительно поверхности ( $\varphi = 90^\circ$ ).

Для угла атаки  $\varphi = 15^\circ$  такая модель дает заметное занижение коэффициента теплоотдачи по сравнению с экспериментом в верхней части пластины, что, вероятно, является следствием того, что для  $\varphi = 15^\circ$  можно предполагать наличие более энергичных крупных капель, которые по импульсу превосходят принимавшиеся в модели. Заметное расхождение с экспериментом, которое дает ударная модель для коэффициента теплоотдачи в нижней части пластины, можно объяснить тем, что пленка уже достаточно толстая и ослабляет ударные эффекты.

### Литература

- Осипов, Ю. Р. Физико-математический анализ тепловых режимов термообработки гуммированных покрытий / Ю. Р. Осипов, Т. А. Рожина // Техника и технология. – 2005. – № 3 (9). – С. 51–54.
- Осипов, Ю. Р. Решение краевой задачи нестационарной теплопроводности при предварительной обработке многослойных эластомерных материалов / Ю. Р. Осипов, Т. А. Рожина, С. Ю. Осипов // Конструкции из композиционных материалов. – Москва : ВИМИ. – 2005. – № 6. – С. 35–40.
- Осипов, Ю. Р. Термообработка и работоспособность покрытий гуммированных объектов / Ю. Р. Осипов. – Москва : Машиностроение, 1995. – 232 с.

*N.A. Bormosov, T.A. Kochkareva, A.Y. Belyanina*  
*Vologda State University*

**STUDY OF CONVECTIVE HEAT TRANSFER DURING LIQUID COOLING  
OF A FLAT VERTICALLY LOCATED RUBBERIZED OBJECT**

Studies of heat exchange during liquid cooling of a flat vertically located rubberized object have been carried out. The main characteristic features of the studied process are defined, the influence of separate major parameters on heat transfer intensity for the further experimental researches intended for development of the practical generalized recommendations is estimated.

Heat transfer, rubberization, density, heat capacity, dynamic viscosity, thermal conductivity, cooling.



## УЧЕТ УПРОЧНЕНИЯ СТАЛИ В ТОНКОСТЕННЫХ ХОЛОДНОДЕФОРМИРУЕМЫХ ПРОФИЛЯХ

В статье представлено экспериментально-теоретическое исследование упрочнения стали по сечению тонкостенных холоднодеформируемых профилей и определение коэффициента упрочнения материала профиля.

Тонкостенные холоднодеформируемые профили, упрочнение материала, экспериментально-теоретическое исследование, коэффициент упрочнения.

Технология возведения зданий из легких стальных тонкостенных конструкций завоевала широкую популярность в Европе, но отсутствие нормативной базы по проектированию этих конструкций в России сдерживало их использование при возведении разнообразных типов зданий и ограничивалось строительством зданий малоэтажных [1]. С выходом нового свода правил СП 260.1325800.2016 [2] по проектированию и расчету тонкостенных профилей появилась возможность использовать их в несущих конструкциях зданий большей этажности и с большими пролетами [3, 4]. Дополнительный экономический эффект при применении этих профилей можно получить при учете упрочнения стали, которое возникает в процессе изготовления профилей. При этом в [2] допускается возможность использования упрочнения стали в сечении тонкостенных профилей только на основании экспериментальных исследований. Коэффициенты упрочнения отдельных зон профиля следует определять по результатам статистической обработки результатов экспериментальных данных. Учет упрочнения материала при растяжении приводит к уменьшению требуемой площади расчетного сечения тонкостенных профилей, уменьшению их массы и повышению экономической эффективности конструкций.

Подобные статистические исследования проведены для материала гнутых профилей толщиной 3–6 мм в работе [5]. Для гнутых профилей указанных толщин коэффициент упрочнения для всего сечения доходит до 1,20. Для тонкостенных стальных профилей толщиной менее 3 мм, которые получили широкое распространение в строительстве [3, 4] после выхода нового свода правил [2], таких исследований до настоящего времени не проводилось. Встает вопрос об оценке уровня упрочнения для тонкостенных профилей.

В настоящей работе произведено экспериментальное и теоретическое исследование и рассмотрены различные подходы к определению коэффициента упрочнения материала тонкостенного профиля.

Экспериментальное исследование по оценке механических свойств стали по поперечному сечению в зависимости от толщины исходной стальной заготовки и формы поперечного сечения тонкостенного про-

филя производилось двумя методами:

- неразрушающим (методом царапания);
- разрушающим (испытанием на растяжение).

Для исследований были выбраны по три образца стоечных профилей трех различных типоразмеров (ПС-150-1; ПС-200-1,5; ПС-200-2) из стали 08пс по ГОСТ 14918-80 [6].

Профили были разделены на 15 продольных участков (рис. 1). Заготовки для изготовления образцов для испытаний на растяжение были вырезаны из стальных профилей с помощью электрической маятниковой пилы. Для исключения действия высоких температур на свойства металла вырезание заготовок было проведено при смазывании зоны выреза машинным маслом. Обработка заготовок производилась на фрезерном станке с охлаждением. Площадь сечения угловых образцов при разрезке принималась равной площади четверти кольца, образованного внешним и внутренним радиусамигиба. Для получения сопоставимых результатов площадь плоских образцов принималась равной площади угловых. Испытания были проведены в соответствии с требованиями действующих нормативных стандартов: ГОСТ 11701-84 [7] и ГОСТ 21318-75 [8]. На основании испытаний трех образцов рассчитывались средние значения определяемых величин при обеспеченности 0,95.

Испытание на твердость царапанием заключалось в нанесении на испытуемую поверхность канавки и измерении ее ширины. Для нанесения царапины была использована установка для определения твердости материала царапаньем с четырехгранной пирамидой. С помощью микроскопа МПБ была измерена ширина царапины. Твердость стали определялась по формуле:

$$H = \frac{c \cdot F}{b^2}, \quad (1)$$

где  $c$  – коэффициент, зависящий от вида алмазного наконечника, для четырехгранной пирамиды  $c = 3,708$ ;

$F$  – давление от индентора в виде алмазной пирамиды на материал, для стали любых классов  $F = 80H$ ;

$b$  – ширина царапины.

По полученному значению твердости определялся предел прочности стали по формуле:

$$\sigma_B = 0,26 \cdot H - 71. \quad (2)$$

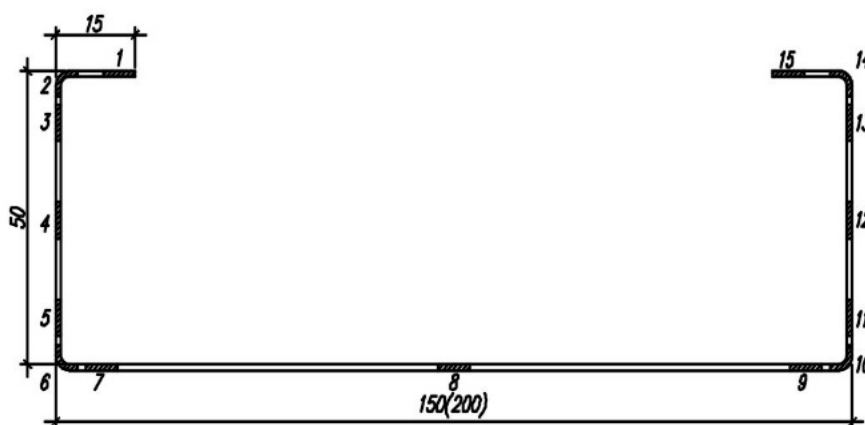


Рис. 1. Места вырезки образцов для испытаний

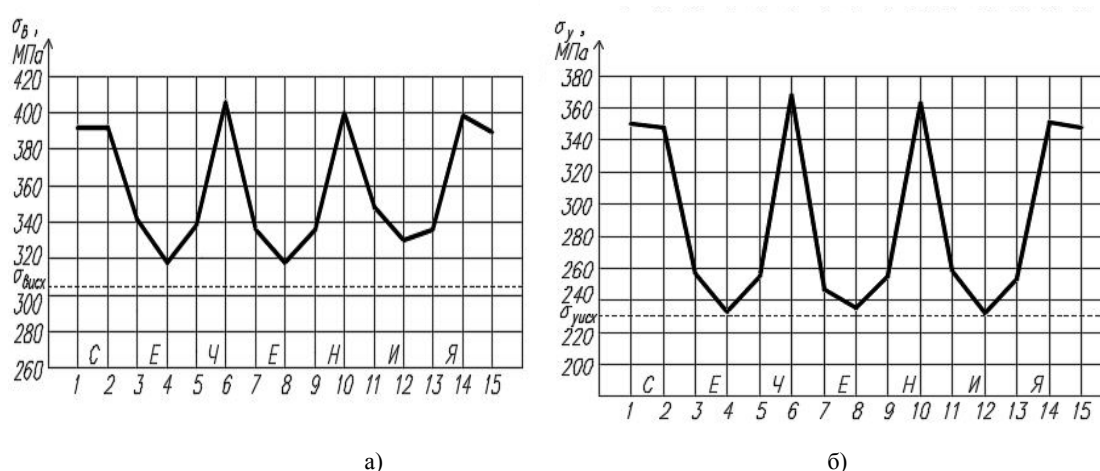


Рис. 2. Распределение прочностных характеристик стали по сечению тонкостенного оцинкованного профиля ПС-150-1: а) предела прочности; б) предела текучести

Испытания образцов разрушающим методом проводились на универсальной разрывной машине Р-5. Приложение нагрузки на образец, определение соответствующего удлинения и запись этих параметров происходили в автоматическом режиме. В результате испытаний образца были получены протоколы механических испытаний на растяжение, включающие следующие данные: максимальное усилие при растяжении ( $P_{max}$ ); временное сопротивление (предел прочности ( $\sigma_0$ )); усилие при условном пределе текучести ( $P_{0,2}$ ); условный предел текучести ( $\sigma_{0,2}$ ); относительное равномерное удлинение ( $\delta_p$ ); диаграммы растяжения.

Для каждого профиля получено распределение механических характеристик стали по сечению. На рисунке 2 представлено распределение прочностных характеристик стали по сечению тонкостенного оцинкованного профиля ПС-150-1 по результатам механических испытаний на растяжение.

Характер распределения прочностных характеристик стали по сечению профилей, полученных неразрушающим и разрушающим методами, одинаков. Разброс результатов испытаний разными методами составляет 2,20–7,00 %.

Из анализа результатов экспериментальных исследований образцов, вырезанных из различных участков поперечного сечения профиля, можно выделить три зоны упрочнения: места сгиба, характеризующиеся наибольшим упрочнением, кромки и прилегающие к местамгиба зоны, имеющие упрочнение, и плоские участки, упрочняющиеся незначительно.

В результате эксперимента установлено, что увеличение предела текучести в местах сгиба выше, чем увеличение предела прочности стали в соответствующих зонах (рис. 2): предел прочности металла местгиба готовых профилей толщиной от 1,0 до 2,0 мм повысился на 36–44 %, предел текучести – на 50–60 %.

Характер распределения упрочнения материала по сечению тонкостенных профилей толщиной 1–2 мм подтверждает данные исследований в [5], проведенных для гнутых профилей толщиной 3–6 мм.

В работе произведен расчет коэффициента упрочнения для зонгиба тонкостенного стального профиля и его сравнение с результатами экспериментальных исследований. Рассмотрены различные подходы к определению коэффициента упрочнения материала тонкостенного профиля. Коэффициенты упроч-

нения определялись для трех профилей толщиной 1; 1,5; 2 мм (ПС-150-1; ПС-200-1,5; ПС-200-2), выполненных из стали с отношением  $\sigma_e / \sigma_m = 1,30$  и отношением  $r / t = 1,5$ .

Коэффициенты упрочнения определялись по четырем методикам. Первый расчет проводился по методике, изложенной в Руководстве по проектированию стальных конструкций из замкнутых гнутосварных профилей [8]; второй – по методике А.Г. Козлова [9], третий – по методике В.М. Деренковского [10], четвертый – по методике А.С. Воробьева [11]. Результаты расчета представлены в таблице 1. Расхождение результатов эксперимента и теоретических коэффициентов упрочнения составило от 0,74 % до 36,00 %.

Проанализировав таблицу, можно сделать вывод, что для исследованных профилей с отношением  $r / t = 1,5$  наилучшую сходимость экспериментальные и теоретические результаты имеют при определении коэффициента упрочнения зоны сгиба по третьей методике. Расхождение составляет 0,74 %.

Таблица 1

**Коэффициент упрочнения металла в зонах сгиба тонкостенного профиля**

r/t	$\sigma_e / \sigma_m = 1,30$				Коэффициент упрочнения металла в зонах сгиба $\alpha_n$ , полученный экспериментально при обеспеченности 0,95
	Коэффициент упрочнения металла в зонах сгиба $\alpha_n$ тонкостенного профиля, вычисленный по разным методикам				
	1	2	3	4	
1,5	1,357	1,097	1,503	1,947	1,492

Коэффициенты упрочнения для всего сечения стальных тонкостенных профилей (табл. 2) определялись по формуле:

$$\alpha = \frac{\sum \alpha_i A_i}{A}, \quad (3)$$

где  $\alpha$  – среднее упрочнение всего профиля;

$A$  – площадь всего сечения профиля;

$\alpha_i A_i$  – коэффициент упрочнения и площадь  $i$ -ого участка тонкостенного профиля.

В работе учитывается упрочнение только угловых зон тонкостенного профиля, его значение принимается по таблице 1 для  $r/t=1,5$ , а для остальной площади сечения –  $\alpha_i=1,00$ . Упрочнение материала сечения профиля с учетом угловых зон и прилегающих к ним участков длиной  $3t$  с коэффициентом упрочнения сечения  $\alpha_i=1,05$  приведено в таблице 2. Различие в коэффициентах упрочнения всего профиля без учета зон, прилегающих к угловым, и с их учетом менее 1 %.

Площадь угловой зоны считается по формуле:

$$A_n = \frac{\pi \cdot t}{2} \cdot \left( r + \frac{t}{2} \right), \quad (4)$$

где  $r = 1,5t$  – радиусгиба.

Профили принимаются по ТУ1121-001-13830080-2003.

Расчеты проведены в программе *Excel* и представлены в таблице 2.

Таблица 2

**Коэффициенты упрочнения материала всего сечения профиля**

Профиль	$\sigma_e / \sigma_m = 1,30$ и $r/t = 1,5$		Расхождение в %
	Коэффициент упрочнения материала всего сечения профиля		
	С учетом упрочнения только углов сгиба	С учетом упрочнения углов сгиба и прилегающих к ним зон длиной $3t$	
ПС-150-1,0	1,023	1,026	0,29
ПС-200-1,5	1,030	1,036	0,58
ПС-200-2,0	1,041	1,049	0,77

В результате проведенных исследований:

1. Произведены расчеты коэффициентов упрочнения стали в местах сгиба по четырем методикам для трех различных профилей и сравнение их с результатами экспериментальных исследований.

2. Согласно методикам, представленным в работах отечественных ученых [9–12], значения коэффициентов упрочнения стали в зонах сгиба  $\alpha_n$  получились с отклонением в пределах 0,74–36,00 % от экспериментального значения. Учет технологического упрочнения при расчете конструкций из стальных тонкостенных профилей позволит повысить их несущую способность до 5 %.

3. Установлено, что учет упрочнения в тонкостенных профилях целесообразен при больших объемах использования конкретных типов профилей на одном объекте, поскольку требует экспериментальных исследований и статистической оценки полученных результатов. При малых объемах использования профилей это нецелесообразно в связи с дополнительными затратами на проведение эксперимента, которые могут не окупиться при возведении объекта.

4. Для более точной оценки целесообразности учета упрочнения стали предполагается проведение дальнейших экспериментальных исследований оценки коэффициентов упрочнения всего сечения профиля и сравнение их с теоретическими.

**Литература**

1. Казакова, И. С. Новое конструктивное решение жилых зданий из ЛСТК. // Эффективные строительные конструкции: теория и практика. Материалы XIII Международной научно-технической конференции / И. С. Казакова, И. Ю. Шалагина, М. Ю. Соловьева ; под редакцией Н. Н. Ласькова. – Пенза : Приволжский Дом знаний, 2013. – С. 39–41.

2. СП 260.1325800.2016. Конструкции стальные тонкостенные из холодногнутого оцинкованного профиля и гофрированных листов. Правила проектиро-

вания : утвержден Минстрой России 3.12.2016 № 881/пр. : введен 4.06.2017. – Москва. – 116 с.

3. Каберов, Д. А. Оценка несущей способности и жесткости балок из тонкостенных оцинкованных профилей / Д. А. Каберов // XII Ежегодная научная сессия аспирантов и молодых ученых. Материалы межрегиональной научной конференции : в 2 томах. – Вологда : ВоГУ. – Т. 1. – 2018. – С. 225–228.

4. Белкина, Е. И. Сравнительный анализ методик расчета поперечной рамы мансардного этажа из холодногнутой оцинкованной термопрофилей / Е. И. Белкина // X Ежегодная научная сессия аспирантов и молодых ученых. Материалы межрегиональной научной конференции : в 2 томах. – Вологда : ВоГУ. – Т. 1. – 2016. – С. 225–228.

5. Немкова, И. С. Статистический анализ свойств материала и обоснование расчетных сопротивлений гнутых профилей для строительных металлических конструкций : специальность 05.23.01 : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Немкова Ирина Сергеевна. – Москва, 1984. – 157 с.

6. ГОСТ 14918-80. Сталь тонколистовая оцинкованная с непрерывных линий. Технические условия. Дата введения 01.07.81. Дата актуализации 01.06.2019. – 12 с.

7. ГОСТ 11701– 84. Металлы. Методы испытаний на растяжение тонких листов и лент. Дата введения 01.01.86. Дата актуализации 01.06.2019. – 24 с.

8. ГОСТ 21318-75. Измерение микротвердости царапанием алмазными наконечниками. Дата введения 01.07.1976. Дата актуализации 01.02.2020. – 28 с.

9. Рекомендации по проектированию строительных конструкций из стальных гнутых профилей. – Научно-технический отчет / ЦНИИПСК ; Руководитель темы И. В. Левитанский. – Тема 75-55-75, № ГР 78010390, инв. № Б 646097. – Москва, 1977. – 60 с.

10. Козлов, А. Г. К вопросу теоретического определения предела текучести зоны деформации гнутого профиля / А. Г. Козлов // Строительство в районах Восточной Сибири и Крайнего Севера. – Красноярск, 1976. – № 39. – С. 41–52.

11. Деренковский, В. М. Учет упрочнения материала в стальных гнутых профилях / В. М. Деренковский // Разработка методов расчета и исследование действительной работы строительных металлоконструкций / ЦНИИПСК им. Мельникова. – Москва, 1983. – С. 32–37.

12. Деформационное упрочнение металла при изгибе. – Текст : электронный // Блог Александра Воробьева. – 2016. – URL: <http://al-vo.ru/mekhanika/deformacionnoe-uprochnenie-metalla-pri-izgibe.html> (дата обращения: 10.06.2021).

*I.S. Kazakova*

*Vologda State University*

#### **ACCOUNTING FOR STEEL HARDENING IN THIN-WALLED COLD-FORMED PROFILES**

The article presents an experimental and theoretical study of the hardening of steel by the cross-section of thin-walled cold-formed profiles and the determination of the hardening coefficient of the profile material.

Thin-walled cold-formed profiles, material hardening, experimental and theoretical study, hardening coefficient.



## ИССЛЕДОВАНИЕ КОНТАКТНЫХ ПРОЦЕССОВ В МЕХАНИЗМЕ ПРИВОДА ПОРШНЕЙ РАДИАЛЬНО-ПОРШНЕВОЙ ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ МАШИНЫ

В статье приведено исследование процесса работы радиально-поршневой гидромашины с кулисным механизмом с плоской направляющей, в котором движение от эксцентрика вала к поршням передается через обойму, выполненную в виде многогранника и совершающую сканирующее плоскопараллельное движение. На основании анализа ориентации обоймы относительно корпуса и контакта в паре «палец – кольцо» определены траектории точек контакта и величины проскальзывания при различных радиусах пальцев.

Радиально-поршневая гидромашина, механизм привода поршней, обойма, палец, кольцо, траектория, контакт.

Одним из направлений совершенствования объемных гидромашин является повышение давления жидкости, где широкое применение находят радиально-поршневые машины с клапанным распределением жидкости. В них применяется эксцентриковый приводной механизм поршней и опоры качения. В машиностроении, и в частности в металлорежущих станках, получили широкое применение радиально-поршневые гидравлические машины с клапанным распределением жидкости, которые позволяют создавать высокое давление и за счет этого обеспечить необходимые технические характеристики привода при минимальных габаритных размерах и массе. В таких машинах применяется эксцентриковый приводной механизм поршней. Для повышения механического КПД гидромашины в механизме привода поршней применяются опоры качения.

В ВоГУ разработана конструкция радиально-поршневой гидромашины, в которой за основу взят кулисный механизм с плоской направляющей. Движение от эксцентрика вала передается к поршням через обойму, выполненную в виде многогранника и совершающую сканирующее плоскопараллельное движение. В работе [1] описано устройство и принцип действия этого механизма, а также произведен геометрический и кинематический анализ движения обоймы и вала и на его основе подтверждена работоспособность указанного механизма. Вместе с тем не исследованы контактные процессы пары «палец – кольцо» и возможность проскальзывания в этих соединениях.

Рассмотрим ориентацию граней звездочки относительно системы, связанной с корпусом (рис. 1).

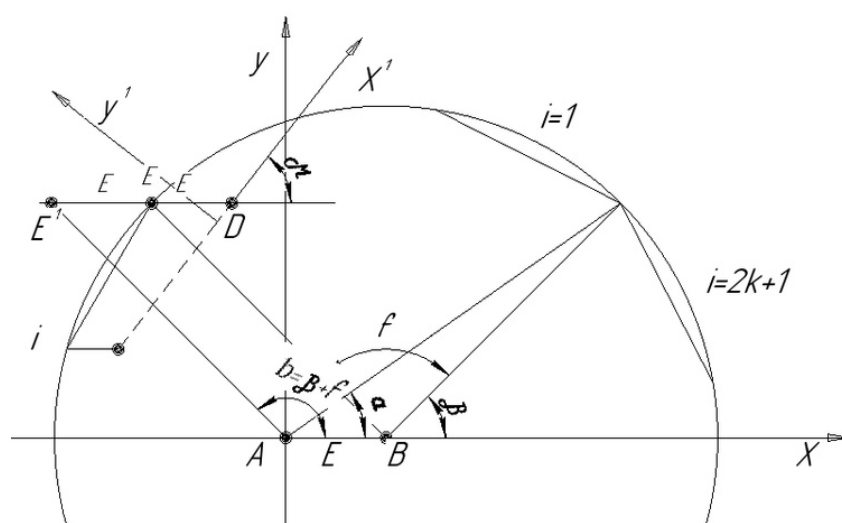


Рис. 1. Ориентация граней звездочки относительно системы, связанной с корпусом

Положим  $\varphi_0=0$  и рассмотрим угол  $\alpha$ , задающий в такой системе грань с номером 1. Всего  $2k+1$  граней.

Найдем для грани  $i$  координаты точки Д в начальном (и любом другом, т.к. она неподвижна) положении:

$$\beta = \alpha + \arcsin \frac{\varepsilon \sin \alpha}{R};$$

$$\gamma = \frac{2\pi}{2k+1} (i+1);$$

$$\delta = \beta + \gamma + \arcsin \frac{\varepsilon \sin \alpha}{R} + \frac{2\pi}{2k+1} (i-1); \quad R = BE.$$

Координаты точки E:  $(R \cos \delta, R \sin \delta)$ .

Координаты точки Д:

$$(R \cos(\alpha + \arcsin \frac{\varepsilon \sin \alpha}{R} + \frac{2\pi}{2k+1} (i-1)) + 2\varepsilon;$$

$$R \sin(\alpha + \arcsin \frac{\varepsilon \sin \alpha}{R} + \frac{2\pi}{2k+1} (i+1)).$$

Тогда траектория точки E в системе, связанной с корпусом, будет

$$x = R \cos(\alpha + \arcsin \frac{\varepsilon \sin \alpha}{R} + \frac{2\pi}{2k+1} (i-1)) + 2\varepsilon + \varepsilon \cos(-\varphi(t) + \pi);$$

$$y = R \sin(\alpha + \arcsin \frac{\varepsilon \sin \alpha}{R} + \frac{2\pi}{2k+1} (i-1)) + \varepsilon \sin(-\varphi(t) + \pi),$$

или

$$x = \varepsilon \varphi(t) \sin(-\varphi(t) + \pi);$$

$$y = -\varepsilon \varphi(t) \cos(-\varphi(t) + \pi).$$

Рассмотрим траекторию той же точки в другой неподвижной системе  $(x', y')$ .

$$\mu = \beta + \frac{\pi}{2k+1} + (i+1) \frac{2\pi}{2k+1} - \frac{\pi}{2} = \beta + \pi \frac{4i-2k-3}{2k+1}.$$

Тогда

$$(x' = \varepsilon \cos(\varphi(t) + \pi) \cos \mu + \varepsilon \sin(-\varphi(t) + \pi) \sin \mu;$$

$$y' = -\varepsilon \cos(\varphi(t) + \pi) \sin \mu + \varepsilon \sin(-\varphi(t) + \pi) \cos \mu.$$

Составляющие скоростей точек грани  $i$  на направления, параллельное и перпендикулярное грани (в не-

подвижной системе, т.е. абсолютные), будут соответственно:

$$x' = \varepsilon \varphi(t) \sin(-\varphi(t) + \pi) \cos \mu - \varepsilon \varphi(t) \cos(-\varphi(t) + \pi) \sin \mu;$$

$$y' = \varepsilon \varphi(t) \sin(-\varphi(t) \cos(-\varphi(t) + \pi) \cos \mu.$$

Определим величину проскальзывания при различных радиусах пальцев, траектории точек контакта пальца и кольца:  $(t+\pi) \sin \mu - E \varepsilon \varphi$ .

При повороте системы на угол  $t$  (рис. 2) дуга между точками контакта С и С' пальца  $0$  есть  $rt$ . Та же дуга  $CC''$  и между точками контакта кольца, т.е.  $R \varphi = rt$  или  $\varphi = \frac{r}{R} t$ . Точка В диаметрально точке С''. Точка контакта В в новом положении и А'' – новая точка контакта пальца  $0_1$ .

В исходном положении: О (0;0);

$O_1$  (0,  $2R-r-r_1$ );  $A_1B$  (0,  $2R-r$ ); С (0, -r).

В новом положении:

О (0,0); С' ( $r \sin t, r \cos t$ ); С'' [ $2R \cos(1 - \frac{r}{2R}) \sin \frac{r}{2R} - r \sin t$ ;

$$-2R \sin(1 - \frac{r}{2R}) \sin \frac{r}{2R} - r \cos t];$$

$O_1'$  [ $(2R-r-r_1) \sin t, (2R-r-r_1) \cos t$ ];

$B'$  [ $2R \sin(1 - \frac{r}{2R}) \cos \frac{r}{2R} - r \sin t, 2R \cos(1 - \frac{r}{2R}) \cos \frac{r}{2R} - r \cos t$ ].

Кольцо радиуса R.

Пусть, например, палец О катится без скольжения, т.е.

$$OO_1 = L; \quad C'C = 2t; \quad A'A'' = r_1 t; \quad \Delta r = r - r_1;$$

$$\Delta S_{\text{кольца}} = S_{\text{кольца}} - A'A''; \quad S_{\text{кольца}} = rt.$$

Угол поворота  $O_1$  задается (он закреплен в звездочке) поворотом самой звездочки относительно корпуса, откуда легко находится величина проскальзывания.

$\Delta S$  – разность длин дуг, одна из которых есть дуга между точками контакта на пальце, другая – дуга между точками контакта на кольце. Тогда:  $\Delta S = (r - r_1)t = \Delta r t$ , т.е. проскальзывание пропорционально  $t$  с коэффициентом  $\Delta r$ .

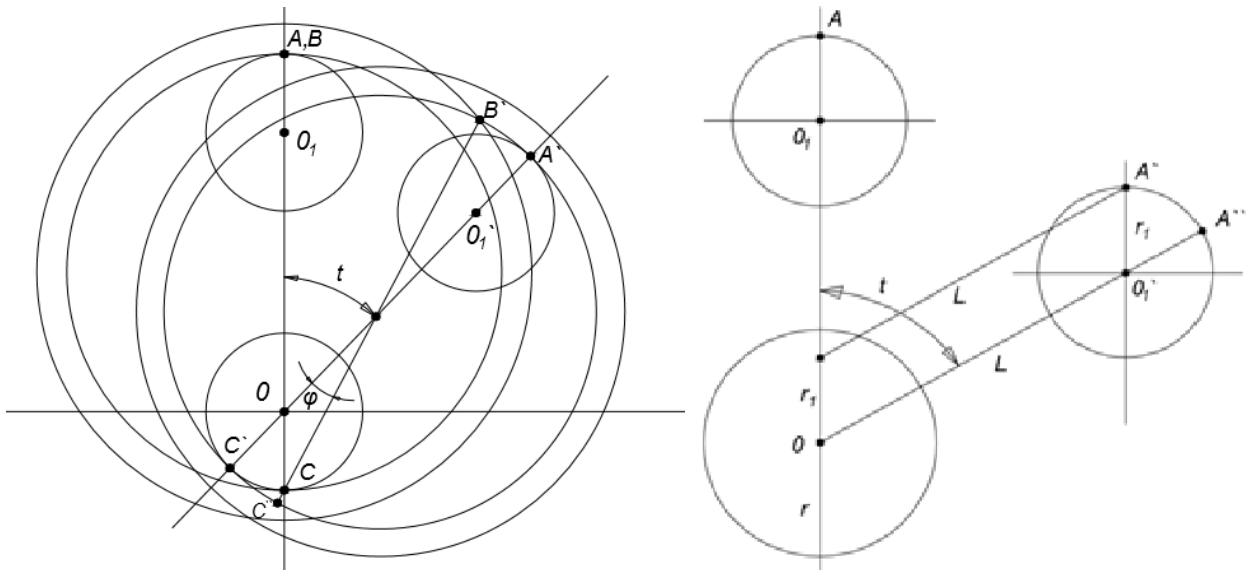


Рис. 2. Схема контакта пальцев и кольца

### Литература

1. Колпаков, В. Н. Кинематическое исследование механизма привода поршней радиально-поршневой гидравлической машины / В. Н. Колпаков // Автоматизация и энергосбережение машиностроительного и

металлургического производства, технология и надежность машин, приборов и оборудования : материалы двадцатой Международной научно-технической конференции. – Вологда : ВоГУ, 2019. – С. 53–57.

*V.N. Kolpakov*

*Vologda State University*

### STUDY OF CONTACT PROCESSES IN DRIVE MECHANISM OF PISTON IN RADIAL-PISTON HYDRAULIC MACHINE

The article contains the process of operation of a radial-piston hydraulic machine with a rocker mechanism with a flat guide rail, in which the movement from the shaft eccentric to the pistons is transmitted through a holder made in the form of a polyhedron and performing scanning plane-parallel motion. Based on the analysis of the orientation of the holder relative to the body and the contact in the pair "fingers – ring", the trajectories of the points of contact and the amount of slip at different radii of the fingers are determined.

Radial-piston hydraulic machine, piston drive mechanism, holder, finger, ring, trajectory, contact.



**В.Е. Никифоров<sup>1,2</sup>, Л.А. Никитин<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Вологодский государственный университет

<sup>2</sup>Вологодский научный центр Российской академии наук

## УПРАВЛЕНИЕ И РЕЖИМ ВАКУУМНО-ИМПУЛЬСНОЙ СУШКИ ПРЕССОВАННЫХ РАСТИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

В статье представлен механизм управления технологическим оборудованием для вакуумно-импульсной сушки прессованных растительных материалов. Дано теоретическое обоснование влияния показателей температуры и давления относительно процесса удаления влаги, который требует значительных затрат тепловой энергии и определенным образом влияет на скорость и продолжительность сушки. Использование вакуума для удаления влаги из материалов с низкой теплопроводностью позволяет сократить процесс сушки при снижении энергетических затрат.

Сушка, прессованное сено, вакуум, теплоноситель, затраты энергии.

В технологическом процессе предварительной обработки растительных материалов сушка имеет особое значение. В современных условиях интенсификации на основе комплексной механизации за счет строительства и модернизации производственных комплексов возрастают мощности сушильных установок. Различные технологические процессы сушки имеют особую специфику и сложность применяемого оборудования, поэтому необходимо учитывать внедрение оптимальных режимов управления сушкой при достаточном уровне автоматизации.

Существующий конвективный способ сушки относится к категории нормального давления, отличается простотой применяемого оборудования с возможностью регулирования температуры теплоносителя для нагрева материала. В качестве сушильного агента используется теплый воздух, топочные газы и пр., испарение влаги из материала происходит также за счет тепловой энергии. Все процессы сушки проходят при давлении, близком к атмосферному или барометрическому, давление подаваемого сушильного агента считается постоянной и равной технической атмосфере 0,1 МПа. Сушка сопровождается большими потерями тепла, поскольку применяемые установки имеют высокие удельные энергозатраты на удаление влаги (от 1,6 до 3,32 кВт ч/кг) [1]. Важную роль при конвективной сушке играют физические параметры теплоносителя, толщина слоя высушиваемого материала и его плотность. Существенным недостатком конвективного способа сушки является относительно небольшая величина коэффициента теплоотдачи сушильного агента с увлажнением поверхности материала. От этого возникает неравномерность сушки, требуются дополнительные затраты тепловой энергии.

Современные исследования по сушке растительных материалов свидетельствуют о том, что массообменные и тепловые процессы зачастую сопровождаются реакцией окисления, изменением структурно-физических свойств. Например, процесс сушки расти-

тельных материалов, не вызывающий денатурацию исходных характеристик, протекает при температуре до 60 °С [1]. Поэтому главной целью сушки одновременно является как удаление влаги, так и сохранение качества, биологически активных веществ исходного сырья. Поэтому в отраслях АПК необходимо использовать энергосберегающие технологии, которые позволяют сократить продолжительность сушки при сохранении качества объемистого корма, исключить потери при длительном хранении. Возможность совершенствования процесса сушки связана с использованием вакуума и создания новой технологии досушки растительных материалов, в частности прессованного сена.

При определении количества испарившейся влаги за некоторый период времени существуют условия по скорости сушки, которые зависят только от температуры поверхности и свойств данного вещества. Скорость испарения ( $U$ ), т.е. количество жидкости, переходящей в пар, также зависит от внешнего давления и движения газообразной фазы от свободной поверхности жидкости:

$$U = C \frac{S}{p_0} (p_n - p),$$

где  $C$  – постоянный коэффициент – материал;

$S$  – площадь свободной поверхности испарения;

$p_n$  – давление насыщенного пара;

$p$  – давление паров жидкости над свободной поверхностью;

$p_0$  – внешнее барометрическое давление.

На практике также необходимо учитывать процессы, сопутствующие основным свойствам удаления влаги по основным показателям, которые требуют значительных затрат тепла и определенным образом влияют на скорость и продолжительность сушки:

1. Скорость циркуляции воды в значительной степени зависит от температуры сушки – экспоненциальная зависимость (табл. 1).

Таблица 1  
Зависимость скорости циркуляции воды от температуры

№ пп.	Влажность %	Температура, °С	Коэффициент циркуляции, $10^{-5}$ см/сек
1	-	25	0,257
2	-	40	0,398
3	50	50	0,558
4	-	60	0,729
5	-	80	1,315

2. Скорость циркуляции воды зависит от уровня вакуума в сушильной камере (табл. 2).

Таблица 2  
Зависимость циркуляции воды от давления

№ пп.	Температура °С	Давление, мм Hg	Коэффициент циркуляции $10^{-5}$ см/сек
1	-	760	0,38
2	-	480	0,41
3	40	240	0,60
4	-	120	0,83
5	-	62	1,315

При снижении давления испарение воды начинается при низкой температуре (температура кипения воды при давлении 0,01 МПа составляет всего 45,5 °С) [2]. Установлено, что вакуумная сушка является наиболее перспективной и экономически обоснованной. Технология вакуумной сушки применяется во многих областях пищевой промышленности, используется для различных пищевых продуктов, пиломатериалов, минеральных удобрений, лекарственных растений.

Разработан способ сушки для волокнистого растительного материала в прессованном виде, в котором производят нагрев и удаление влаги из материала в виде насыщенного пара под действием вакуума [3]. Обеспечивается повышение скорости сушки при низкой температуре нагрева, поскольку растительные материалы отличаются низкой теплопроводностью,

соизмеримой с высококачественными теплоизоляционными материалами. Прессованное сено плотностью 110–150 кг/м<sup>3</sup> характеризуются как материал с низким значением коэффициента теплопроводности  $\lambda=0,053\pm 0,11$  Вт/(м·°С). Вследствие плохой теплопроводности тепло задерживается в основном в слоях, контактирующих непосредственно с горячей поверхностью сушилки. Исследования по разработке и созданию экспериментальной установки вакуумной сушки прессованных растительных материалов выполнены в результате реализации государственного научно-го гранта Вологодской области в 2019 г. [4].

Способ сушки волокнистых прессованных материалов определяет основные принципы управления работы оборудования, условия и режимы выполнения данного процесса. Управление режимом вакуумно-импульсной сушки включает определенную последовательность вакуумных периодов и интенсивный нагрев растительного материала в сушильной камере [5].

В состав оборудования входит: сушильная камера, вакуумная система, нагреватель, вентиляционное устройство, приборы контроля и автоматика управления работы установки. На рисунке 1 представлена функциональная схема применяемого оборудования для установки в технологии вакуумно-импульсного способа удаления влаги.

Создание и накопление вакуума производится в ресивере (1) с помощью вакуумного насоса (2). Ресивер связан с вакуумной камерой (3) системой трубопровода через клапан (4). Нагрев прессованного материала (5), находящегося в объеме вакуумной камеры, осуществляется за счет внешнего теплового блока (6). Выход отработанного теплоносителя из пространства камеры осуществляется выпускным клапаном (7).

Работа оборудования обеспечивает заданные режимы данной технологии. Процесс имеет необходимую последовательность операций создания вакуума и удаления влаги из рабочей камеры, которые повторяются неоднократно в зависимости от продолжительности сушки. Общий механизм управления работой оборудования по технологии вакуумно-импульсного удаления влаги представлен на рисунке 2.

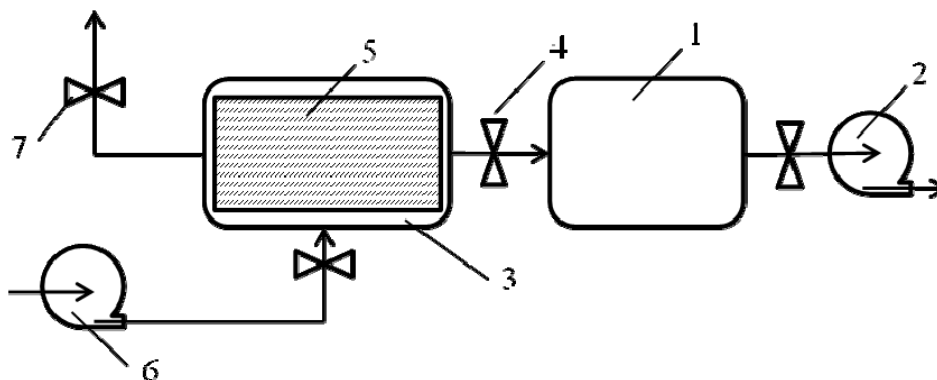


Рис. 1. Функциональная схема

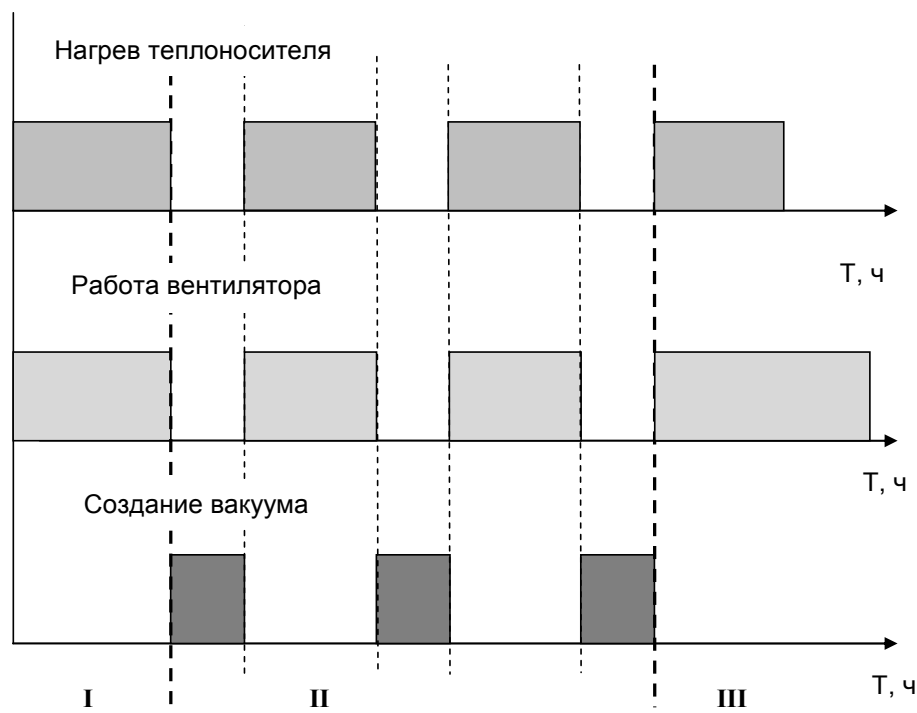


Рис. 2. Диаграмма работы оборудования

На диаграмме показаны временные участки, которые отдельно характеризуют основные периоды процесса сушки и управление работой оборудования:

I – начальный этап, предварительный прогрев материала;

II – формирование периодов вакуумного воздействия, интенсивное удаление влаги из материала;

III – продувка, охлаждение материала, этап завершения сушки.

Необходим предварительный нагрев материала с принудительной вентиляцией, когда теплоноситель нужно подавать под давлением, поскольку прессованное сено имеет высокую плотность, практически не сохнет в обычных условиях, влага не удаляется из-за плотной многослойной структуры волокнистого материала. При работе установки производится предварительный нагрев материала до необходимой температуры, затем включается вакуумный насос РВН-40/350 для создания требуемого вакуумметрического давления. Контроль создаваемого вакуума в камере осуществляется с помощью измерительного вакуумметра МПЗ-У1. Сырье под вакуумом выдерживается определенный период времени (20–30 минут), после этого давление повышается до атмосферного и включается в работу установка нагревателя ЭКОЦ-10. Подача и интенсивная продувка с поступлением нагретого воздуха под давлением 1000 Па обеспечивается центробежным вентилятором ВЦ-14 производительностью 1000–2000 м<sup>3</sup>/ч. Для повышения скорости сушки материала неоднократно проводится периодическое вакуумное воздействие в виде вакуумных импульсов: 3–5 раз в зависимости от материала.

Использование вакуума позволяет сократить процесс сушки по сравнению с конвективным методом.

Для интенсивного удаления влаги из материала производится управляющее воздействие для работы оборудования в виде формирования вакуумных периодов, которые существенно позволяют ускорить удаление влаги из материала без высокотемпературного нагрева при снижении энергетических затрат.

#### Литература

1. Пятрушявичус, В. И. Активное вентилирование травяных кормов / В. И. Пятрушявичус, В. М. Любарский. – Ленинград : Агропромиздат, 1986. – 96 с.
2. Лыков, А. В. Тепломассообмен: справочник / А. В. Лыков. – Москва : Энергия, 1978. – 480 с.
3. Патент 2476085 РФ. МПК А23К 3/02, А23В 7/00. Способ сушки волокнистых прессованных материалов : заявка № 2010154629/13 : опубл. 27.02.2013, бюл. № 6 / В. К. Углин, В. Е. Никифоров, Е. А. Тяпугин, С. Е. Тяпугин. – 3 с.
4. Никифоров, В. Е. Технология заготовки кормов с досушкой прессованного сена вакуумным способом удаления влаги / В. Е. Никифоров, Л. А. Никитин, В. К. Углин // АгроЗооТехника. – 2019. – Т. 2, № 1. – С. 44–50.
5. Никифоров, В. Е. Разработка экспериментальной установки вакуумной сушки прессованных растительных материалов / В. Е. Никифоров, Л. А. Никитин // Вестник Вологодского государственного университета. Серия: Технические науки. 2020. – № 1 (7). – С. 23–26.

***V.E. Nikiforov<sup>1,2</sup>, L.A. Nikitin<sup>2</sup>***

*<sup>1</sup>Vologda State University*

*<sup>2</sup>Vologda Research Center of the Russian Academy of Sciences*

## **CONTROL AND MODE OF PULSED VACUUM DRYING OF PRESSED PLANT MATERIALS**

The article presents the mechanism of control of technological equipment for pulsed vacuum drying of pressed plant materials. A theoretical justification for the influence of temperature and pressure indicators regarding the process of removing moisture, which requires significant heat energy consumption and in a certain way affects the speed and duration of drying was given. Using vacuum to remove moisture from materials with low thermal conductivity reduces the drying process while reducing energy consumption.

Drying, pressed hay, vacuum, heat carrier, energy consumption.



## ПРИВЕДЕНИЕ В ДВИЖЕНИЕ МНОГОЗВЕННОЙ КИНЕМАТИЧЕСКОЙ ЦЕПИ С УПРУГИМИ СВЯЗЯМИ

В статье рассматривается схема соединения инертных элементов длинной кинематической цепи упругими связями, альтернативная широко применяемой в настоящее время на практике. Приводится доказательство преимущества предложенной схемы над существующей. Представлена методика расчета приведения в движение кинематической схемы в составе двух и трех составных элементов. На основании предложенной методики произведен динамический расчет на примере поезда в составе локомотива и одного или двух вагонов. Показано, что эффективность предложенной схемы тем выше, чем больше число ее секций. Результаты исследования могут использоваться при конструировании многозвенных транспортных средств.

Ускорение, энергия, масса, секция, локомотив, кинематическая цепь, колебания, демпфер.

Многозвенные кинематические цепи широко применяются на практике. Примером может служить железнодорожный состав, состоящий из локомотива и вагонов, режим трогания для которого представляет настолько серьезную проблему, что иногда приходится принимать специальные меры, такие как использование песка в зоне контакта бандажа колеса с рельсом или вспомогательного локомотива [1, 2]. Эта проблема объясняется тем, что сила трения покоя значительно превосходит силу трения движения. Эффективным способом трогания поезда является выбор зазоров в сцепках. При этом вагоны приводятся в движение поочередно и инертная масса, а также сила трения покоя непосредственно в момент трогания минимальны [3].

Этот способ, однако, имеет два существенных недостатка – малую фиксированную величину зазоров в сцепках, что ограничивает эффективность способа, и ударный характер передачи импульса, что отрицательно сказывается на состоянии конструктивных элементов поезда. Эти недостатки обуславливают актуальность работы.

Указанных недостатков можно избежать, если использовать упруго деформируемые сцепки.

Целью работы является построение математической модели «легкого» трогания поезда с упругими сцепками.

Расчет механической системы в составе массивных локомотива, вагонов и упругих сцепок является достаточно громоздким [4]. Для его минимизации принимаются следующие допущения: сила  $F$ , развиваемая локомотивом, – величина постоянная; массы локомотива и вагонов равны между собой и составляют  $m$ .

**Два звена.** Уравнение сил, приложенных к локомотиву, имеет вид

$$F = m \frac{d^2 x_1}{dt^2} + k(x_1 - x_2), \quad (1)$$

где  $x_1, x_2$  – перемещение, соответственно, локомотива и вагона,  $k$  – коэффициент упругости сцепки.

Силы, приложенные к вагону, удовлетворяют уравнению

$$m \frac{d^2 x_2}{dt^2} = k(x_1 - x_2).$$

Из последнего уравнения следует:

$$x_1 = \frac{m}{k} \frac{d^2 x_2}{dt^2} + x_2. \quad (2)$$

Подстановка этого выражения в (1) дает

$$F = \frac{m^2}{k} \frac{d^4 x_2}{dt^4} + m \frac{d^2 x_2}{dt^2} + m \frac{d^2 x_2}{dt^2} + kx_2 - kx_2 = \frac{m^2}{k} \frac{d^4 x_2}{dt^4} + 2m \frac{d^2 x_2}{dt^2}. \quad (3)$$

Пусть 
$$\frac{d^2 x_2}{dt^2} = z. \quad (4)$$

Тогда (3) запишется в виде

$$z'' + 2 \frac{k}{m} z = \frac{kF}{m^2}. \quad (5)$$

Характеристическое уравнение:

$$r^2 + 2 \frac{k}{m} = 0.$$

Его корни равны

$$r_{1,2} = \pm i \sqrt{2 \frac{k}{m}}.$$

Общее решение соответствующего однородного уравнения –

$$z_1 = C_1 \cos \sqrt{2 \frac{k}{m}} t + C_2 \sin \sqrt{2 \frac{k}{m}} t.$$

Частное решение в соответствии с (5) имеет вид

$$z_2 = A.$$

Подстановка его в (5) дает

$$2 \frac{k}{m} A = \frac{kF}{m^2}, \quad A = \frac{F}{2m}.$$

Общее решение уравнения (5) находится как

$$z = z_1 + z_2 = C_1 \cos \sqrt{2 \frac{k}{m}} t + C_2 \sin \sqrt{2 \frac{k}{m}} t + \frac{F}{2m}.$$

В момент времени  $t = 0$  сцепка не деформирована, следовательно, на вагон сила не действует и величина

(4) равна нулю. Поэтому для  $t = 0$  последнее выражение примет вид

$$z(0) = 0 = C_1 \cos \sqrt{2\frac{k}{m}} + C_2 \sin \sqrt{2\frac{k}{m}} + \frac{F}{2m}, \quad C_1 = -\frac{F}{2m}.$$

С учетом этого

$$z = -\frac{F}{2m} \cos \sqrt{2\frac{k}{m}} t + C_2 \sin \sqrt{2\frac{k}{m}} t + \frac{F}{2m}. \quad (6)$$

В соответствии с (4)

$$v_2 = \int z dt = -\frac{F}{2m} \sqrt{\frac{m}{2k}} \sin \sqrt{2\frac{k}{m}} t - C_2 \sqrt{\frac{m}{2k}} \cos \sqrt{2\frac{k}{m}} t + \frac{F}{2m} t + C_3,$$

$$x_2 = \int v_2 dt = \frac{F}{4k} \cos \sqrt{2\frac{k}{m}} t - C_2 \frac{m}{2k} \sin \sqrt{2\frac{k}{m}} t + \frac{F}{4m} t^2 + C_3 t + C_4. \quad (7)$$

С учетом (2), (4), (6) и (7)

$$x_1 = -\frac{F}{2k} \cos \sqrt{2\frac{k}{m}} t + C_2 \frac{m}{k} \sin \sqrt{2\frac{k}{m}} t + \frac{F}{2k} + \frac{F}{4k} \cos \sqrt{2\frac{k}{m}} t -$$

$$- C_2 \frac{m}{2k} \sin \sqrt{2\frac{k}{m}} t + \frac{F}{4m} t^2 + C_3 t + C_4,$$

$$v_1 = \frac{dx_1}{dt} = \frac{F}{2k} \sqrt{2\frac{k}{m}} \sin \sqrt{2\frac{k}{m}} t + C_2 \sqrt{2\frac{k}{m}} \frac{m}{k} \cos \sqrt{2\frac{k}{m}} t -$$

$$- \frac{F}{4k} \sqrt{2\frac{k}{m}} \sin \sqrt{2\frac{k}{m}} t - C_2 \sqrt{2\frac{k}{m}} \frac{m}{2k} \cos \sqrt{2\frac{k}{m}} t + \frac{F}{2m} t + C_3,$$

$$a_1 = \frac{dv_1}{dt} = \frac{F}{2k} \sqrt{2\frac{k}{m}} \cos \sqrt{2\frac{k}{m}} t - C_2 \sqrt{2\frac{k}{m}} \frac{m}{k} \sin \sqrt{2\frac{k}{m}} t - \frac{F}{4k} \sqrt{2\frac{k}{m}} \cos \sqrt{2\frac{k}{m}} t +$$

$$+ C_2 \sqrt{2\frac{k}{m}} \frac{m}{2k} \sin \sqrt{2\frac{k}{m}} t + \frac{F}{2m}.$$

$$x_2(0) = 0 = \frac{F}{4k} \cos \sqrt{2\frac{k}{m}} \cdot 0 - C_2 \frac{m}{2k} \sin \sqrt{2\frac{k}{m}} \cdot 0 + \frac{F}{4m} \cdot 0^2 + C_3 \cdot 0 + C_4,$$

$$\frac{F}{4k} + C_4 = 0, \quad C_4 = -\frac{F}{4k}.$$

$$v_2(0) = 0 = -C_2 \sqrt{\frac{m}{2k}} + C_3,$$

$$v_1(0) = 0 = C_2 \sqrt{2\frac{k}{m}} \frac{m}{k} - C_2 \sqrt{2\frac{k}{m}} \frac{m}{2k} + C_3 = C_2 \sqrt{2\frac{k}{m}} \frac{m}{2k} + C_3,$$

$$\begin{cases} -C_2 \sqrt{\frac{m}{2k}} + C_3 = 0, & C_2 = 0, & C_3 = 0 \\ C_2 \sqrt{\frac{m}{2k}} + C_3 = 0 \end{cases}$$

Окончательное решение:

$$x_1 = -\frac{F}{4k} \cos \sqrt{2\frac{k}{m}} t + \frac{F}{4m} t^2 + \frac{F}{4k}, \quad x_2 = \frac{F}{4k} \cos \sqrt{2\frac{k}{m}} t + \frac{F}{4m} t^2 - \frac{F}{4k},$$

$$v_1 = \frac{F}{2\sqrt{2km}} \sin \sqrt{2\frac{k}{m}} t + \frac{F}{2m} t, \quad v_2 = -\frac{F}{2\sqrt{2km}} \sin \sqrt{2\frac{k}{m}} t + \frac{F}{2m} t,$$

$$a_1 = \frac{F}{2m} \cos \sqrt{2\frac{k}{m}} t + \frac{F}{2m}, \quad a_2 = -\frac{F}{2m} \cos \sqrt{2\frac{k}{m}} t + \frac{F}{2m}.$$

Характерный отрезок времени  $\tau_2$  (индекс «2» означает количество составных частей поезда) для рассматриваемого случая определяется из условия максимального растяжения упругой сцепки. При этом

$$a_1(\tau_2) - \frac{F}{2m} = 0 \quad \text{или} \quad \frac{F}{2m} \cos \sqrt{2\frac{k}{m}} \tau_2 = 0,$$

$$\sqrt{2\frac{k}{m}} \tau_2 = \frac{\pi}{2}, \quad \tau_2 = \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{m}{2k}}.$$

За время  $\tau_2$  локомотив пройдет расстояние

$$x_1(\tau_2) = -\frac{F}{4k} \cos \sqrt{\frac{2k}{m}} \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{m}{2k}} + \frac{F}{4m} \frac{\pi^2}{4} \frac{m}{2k} + \frac{F}{4k} = \frac{F\pi^2}{32k} + \frac{F}{4k}$$

и разовьет скорость

$$v_1(\tau_2) = \frac{F}{2\sqrt{2km}} \sin \sqrt{\frac{2k}{m}} \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{m}{2k}} + \frac{F}{2m} \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{m}{2k}} = \frac{F}{2\sqrt{2km}} + \frac{F\pi}{4\sqrt{2km}}.$$

Уместно сравнить эти показатели с соответствующими величинами для недеформируемого состава:

$$a = \frac{F}{2m}, \quad v = \frac{F}{2m} t, \quad x = \frac{F}{4m} t^2,$$

$$x(\tau_2) = \frac{F}{4m} \frac{\pi^2}{4} \frac{m}{2k} = \frac{F\pi^2}{32k}, \quad v(\tau_2) = \frac{F}{2m} \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{m}{2k}} = \frac{F\pi}{4\sqrt{2km}}.$$

$$\frac{x_1(\tau_2)}{x(\tau_2)} = \frac{F\pi^2/(32k) + F/(4k)}{F\pi^2/(32k)} = 1 + \frac{32}{4\pi^2} \approx 1,81.$$

$$\frac{v_1(\tau_2)}{v(\tau_2)} = \frac{F/(2\sqrt{2km}) + F\pi/(4\sqrt{2km})}{F\pi/(4\sqrt{2km})} = 1 + \frac{2}{\pi} \approx 1,64.$$

Отношение для кинетических энергий локомотива составляет

$$\frac{E_1(\tau_2)}{E(\tau_2)} = 2,69.$$

Полученные соотношения наглядно демонстрируют, что трогание состава с упругими сцепками значительно легче, чем недеформируемого.

**Три звена.** Уравнения сил, приложенных, соответственно, к локомотиву и вагонам, имеют вид

$$F = m \frac{d^2 x_1}{dt^2} + k(x_1 - x_2), \quad (8)$$

$$k(x_1 - x_2) = m \frac{d^2 x_2}{dt^2} + k(x_2 - x_3), \quad (9)$$

$$k(x_2 - x_3) = m \frac{d^2 x_3}{dt^2}.$$

Из последнего уравнения следует:

$$x_2 = \frac{m}{k} \frac{d^2 x_3}{dt^2} + x_3. \quad (10)$$

Производная этого выражения равна

$$\frac{d^2 x_2}{dt^2} = \frac{m}{k} \frac{d^4 x_3}{dt^4} + \frac{d^2 x_3}{dt^2}.$$

Подстановка последних двух выражений в (9) дает

$$x_1 = \frac{m}{k} \frac{d^2 x_2}{dt^2} + 2x_2 - x_3 = \frac{m^2}{k^2} \frac{d^4 x_3}{dt^4} + \frac{m}{k} \frac{d^2 x_3}{dt^2} + 2 \frac{m}{k} \frac{d^2 x_3}{dt^2} + 2x_3 - x_3 =$$

$$= \frac{m^2}{k^2} \frac{d^4 x_3}{dt^4} + 3 \frac{m}{k} \frac{d^2 x_3}{dt^2} + x_3. \quad (11)$$

Производная этого выражения равна

$$\frac{d^2 x_1}{dt^2} = \frac{m^2}{k^2} \frac{d^6 x_3}{dt^6} + 3 \frac{m}{k} \frac{d^4 x_3}{dt^4} + \frac{d^2 x_3}{dt^2}.$$

Подстановка полученных выражений в (8) дает

$$\frac{F}{k} = \frac{m^3}{k^3} \frac{d^6 x_3}{dt^6} + 3 \frac{m^2}{k^2} \frac{d^4 x_3}{dt^4} + \frac{m}{k} \frac{d^2 x_3}{dt^2} + \frac{m^2}{k^2} \frac{d^4 x_3}{dt^4} + 3 \frac{m}{k} \frac{d^2 x_3}{dt^2} + x_3 - \frac{m}{k} \frac{d^2 x_3}{dt^2} - x_3 =$$

$$= \frac{m^3}{k^3} \frac{d^6 x_3}{dt^6} + 4 \frac{m^2}{k^2} \frac{d^4 x_3}{dt^4} + 3 \frac{m}{k} \frac{d^2 x_3}{dt^2},$$

$$\frac{d^6 x_3}{dt^6} + 4 \frac{k}{m} \frac{d^4 x_3}{dt^4} + 3 \frac{k^2}{m^2} \frac{d^2 x_3}{dt^2} = \frac{k^2 F}{m^3}. \quad (12)$$

$$\text{Пусть} \quad \frac{d^2 x_3}{dt^2} = z. \quad (13)$$

Тогда (12) запишется в виде

$$z''' + 4 \frac{k}{m} z'' + 3 \frac{k^2}{m^2} z = \frac{k^2 F}{m^3}. \quad (14)$$

Характеристическое уравнение –

$$r^4 + 4\frac{k}{m}r^2 + 3\frac{k^2}{m^2} = 0.$$

$$r_{1,2}^2 = -2\frac{k}{m} \pm \frac{k}{m}, \quad r_1^2 = -3\frac{k}{m}, \quad r_2^2 = -\frac{k}{m},$$

$$r_{1,2} = \pm i\sqrt{3\frac{k}{m}}, \quad r_{3,4} = \pm i\sqrt{\frac{k}{m}}.$$

Общее решение соответствующего однородного уравнения –

$$z_1 = C_1 \cos\sqrt{3\frac{k}{m}}t + C_2 \sin\sqrt{3\frac{k}{m}}t + C_3 \cos\sqrt{\frac{k}{m}}t + C_4 \sin\sqrt{\frac{k}{m}}t.$$

Частное решение имеет вид

$$z_2 = A.$$

Подстановка его в (14) дает

$$3\frac{k^2}{m^2}A = \frac{k^2F}{m^3}, \quad A = \frac{F}{3m}.$$

Общее решение находится как

$$z = z_1 + z_2 = C_1 \cos\sqrt{3\frac{k}{m}}t + C_2 \sin\sqrt{3\frac{k}{m}}t + C_3 \cos\sqrt{\frac{k}{m}}t + C_4 \sin\sqrt{\frac{k}{m}}t + \frac{F}{3m}. \quad (15)$$

В соответствии с (13)

$$v_3 = \int z dt = C_1 \sqrt{\frac{m}{3k}} \sin\sqrt{3\frac{k}{m}}t - C_2 \sqrt{\frac{m}{3k}} \cos\sqrt{3\frac{k}{m}}t + C_3 \sqrt{\frac{m}{k}} \sin\sqrt{\frac{k}{m}}t - C_4 \sqrt{\frac{m}{k}} \cos\sqrt{\frac{k}{m}}t + \frac{F}{3m}t + C_5, \quad (16)$$

$$x_3 = \int v_3 dt = -C_1 \frac{m}{3k} \cos\sqrt{3\frac{k}{m}}t - C_2 \frac{m}{3k} \sin\sqrt{3\frac{k}{m}}t - C_3 \frac{m}{k} \cos\sqrt{\frac{k}{m}}t - C_4 \frac{m}{k} \sin\sqrt{\frac{k}{m}}t + \frac{F}{6m}t^2 + C_5t + C_6. \quad (17)$$

С учетом (10), (13), (15) и (17)

$$x_2 = \frac{m}{k}C_1 \cos\sqrt{3\frac{k}{m}}t + \frac{m}{k}C_2 \sin\sqrt{3\frac{k}{m}}t + \frac{m}{k}C_3 \cos\sqrt{\frac{k}{m}}t + \frac{m}{k}C_4 \sin\sqrt{\frac{k}{m}}t + \frac{m}{k}\frac{F}{3m}t -$$

$$-C_1 \frac{m}{3k} \cos\sqrt{3\frac{k}{m}}t - C_2 \frac{m}{3k} \sin\sqrt{3\frac{k}{m}}t - C_3 \frac{m}{k} \cos\sqrt{\frac{k}{m}}t - C_4 \frac{m}{k} \sin\sqrt{\frac{k}{m}}t + \frac{F}{6m}t^2 + C_5t + C_6 =$$

$$= \frac{2m}{3k}C_1 \cos\sqrt{3\frac{k}{m}}t + \frac{2m}{3k}C_2 \sin\sqrt{3\frac{k}{m}}t + \frac{F}{3k} + \frac{F}{6m}t^2 + C_5t + C_6, \quad (18)$$

$$v_2 = \frac{dx_2}{dt} = -\frac{2m}{3k}\sqrt{\frac{3k}{m}}C_1 \sin\sqrt{3\frac{k}{m}}t + \frac{2m}{3k}\sqrt{\frac{3k}{m}}C_2 \cos\sqrt{3\frac{k}{m}}t + \frac{F}{3m}t + C_5 =$$

$$= -\frac{2}{3}\sqrt{\frac{3m}{k}}C_1 \sin\sqrt{3\frac{k}{m}}t + \frac{2}{3}\sqrt{\frac{3m}{k}}C_2 \cos\sqrt{3\frac{k}{m}}t + \frac{F}{3m}t + C_5, \quad (19)$$

$$a_2 = \frac{dv_2}{dt} = -2C_1 \cos\sqrt{3\frac{k}{m}}t - 2C_2 \sin\sqrt{3\frac{k}{m}}t + \frac{F}{3m}, \quad (20)$$

С учетом (11), (20), (18) и (17)

$$x_1 = -2C_1 \frac{m}{k} \cos\sqrt{3\frac{k}{m}}t - 2C_2 \frac{m}{k} \sin\sqrt{3\frac{k}{m}}t + \frac{F}{3m} \frac{m}{k} + 2\frac{2m}{3k}C_1 \cos\sqrt{3\frac{k}{m}}t + 2\frac{2m}{3k}C_2 \sin\sqrt{3\frac{k}{m}}t + \frac{2F}{3k} + \frac{2F}{6m}t^2 + 2C_5t + 2C_6 -$$

$$+ C_1 \frac{m}{3k} \cos\sqrt{3\frac{k}{m}}t + C_2 \frac{m}{3k} \sin\sqrt{3\frac{k}{m}}t + C_3 \frac{m}{k} \cos\sqrt{\frac{k}{m}}t + C_4 \frac{m}{k} \sin\sqrt{\frac{k}{m}}t - \frac{F}{6m}t^2 - C_5t - C_6 =$$

$$= -C_1 \frac{m}{3k} \cos\sqrt{3\frac{k}{m}}t - C_2 \frac{m}{3k} \sin\sqrt{3\frac{k}{m}}t + C_3 \frac{m}{k} \cos\sqrt{\frac{k}{m}}t + C_4 \frac{m}{k} \sin\sqrt{\frac{k}{m}}t + \frac{F}{6m}t^2 + C_5t + C_6,$$

$$v_1 = \frac{dx_1}{dt} = C_1 \sqrt{\frac{m}{3k}} \sin\sqrt{3\frac{k}{m}}t - C_2 \sqrt{\frac{m}{3k}} \cos\sqrt{3\frac{k}{m}}t - C_3 \sqrt{\frac{m}{k}} \sin\sqrt{\frac{k}{m}}t + C_4 \sqrt{\frac{m}{k}} \cos\sqrt{\frac{k}{m}}t + \frac{F}{3m}t + C_5. \quad (21)$$

$$a_1 = C_1 \cos\sqrt{3\frac{k}{m}}t - C_3 \cos\sqrt{\frac{k}{m}}t + \frac{F}{3m}.$$

В соответствии с (20)

$$a_2(0) = -2C_1 + \frac{F}{3m} = 0, \quad C_1 = \frac{F}{6m}.$$

В соответствии с (15)

$$z(0) = 0 = \frac{F}{6m} + C_3 + \frac{F}{3m}, \quad C_3 = -\frac{F}{2m}.$$

В соответствии с (18)

$$x_2(0) = \frac{2m}{3k}C_1 + \frac{F}{3k} + C_6 = 0, \quad \frac{F}{9k} + \frac{F}{3k} + C_6 = 0, \quad C_6 = -\frac{4F}{9k}.$$

В соответствии с (21), (16) и (19)

$$v_1(0) = -C_2 \sqrt{\frac{m}{3k}} + C_4 \sqrt{\frac{m}{k}} + C_5 = 0,$$

$$v_3(0) = -C_2 \sqrt{\frac{m}{3k}} - C_4 \sqrt{\frac{m}{k}} + C_5 = 0, \quad C_4 = 0,$$

$$v_2(0) = \frac{2}{3}\sqrt{\frac{3m}{k}}C_2 + C_5 = 0, \quad C_2 = 0, \quad C_5 = 0.$$

Окончательное решение:

$$x_1 = -\frac{F}{18k} \cos\sqrt{3\frac{k}{m}}t - \frac{F}{2k} \cos\sqrt{\frac{k}{m}}t + \frac{F}{6m}t^2 + \frac{5F}{9k},$$

$$x_2 = \frac{F}{9k} \cos\sqrt{3\frac{k}{m}}t + \frac{F}{6m}t^2 - \frac{F}{9k},$$

$$x_3 = -\frac{F}{18k} \cos\sqrt{3\frac{k}{m}}t + \frac{F}{2k} \cos\sqrt{\frac{k}{m}}t + \frac{F}{6m}t^2 - \frac{4F}{9k},$$

$$v_1 = \frac{F}{6\sqrt{3km}} \sin\sqrt{3\frac{k}{m}}t + \frac{F}{2\sqrt{km}} \sin\sqrt{\frac{k}{m}}t + \frac{F}{3m}t,$$

$$v_2 = -\frac{F}{3\sqrt{3km}} \sin\sqrt{3\frac{k}{m}}t + \frac{F}{3m}t,$$

$$v_3 = \frac{F}{6\sqrt{3km}} \sin\sqrt{3\frac{k}{m}}t - \frac{F}{2\sqrt{km}} \sin\sqrt{\frac{k}{m}}t + \frac{F}{3m}t,$$

$$a_1 = \frac{F}{6m} \cos\sqrt{3\frac{k}{m}}t + \frac{F}{2m} \cos\sqrt{\frac{k}{m}}t + \frac{F}{3m},$$

$$a_2 = -\frac{F}{3m} \cos\sqrt{3\frac{k}{m}}t + \frac{F}{3m},$$

$$a_3 = \frac{F}{6m} \cos\sqrt{3\frac{k}{m}}t - \frac{F}{2m} \cos\sqrt{\frac{k}{m}}t + \frac{F}{3m}.$$

Характерный отрезок времени  $\tau_3$  для рассматриваемого случая определяется из условия максимального растяжения упругой цепки. При этом

$$a_1(\tau_3) - \frac{F}{3m} = 0 \quad \text{или} \quad \frac{F}{6m} \cos\sqrt{3\frac{k}{m}}\tau_3 + \frac{F}{2m} \cos\sqrt{\frac{k}{m}}\tau_3 = 0,$$

$$\frac{1}{3} \cos\sqrt{3\frac{k}{m}}\tau_3 + \cos\sqrt{\frac{k}{m}}\tau_3 = 0.$$

Решение последнего уравнения имеет вид

$$\sqrt{\frac{k}{m}}\tau_3 = 0,427\pi, \quad \tau_3 = 0,427\pi\sqrt{\frac{m}{k}}.$$

За время  $\tau_3$  локомотив пройдет расстояние

$$\begin{aligned} x_1(\tau_3) &= -\frac{F}{18k} \cos\sqrt{\frac{3k}{m}} \cdot 0,427\pi\sqrt{\frac{m}{k}} - \frac{F}{2k} \cos\sqrt{\frac{k}{m}} \cdot 0,427\pi\sqrt{\frac{m}{k}} + \\ &+ \frac{F}{6m} \left(0,427\pi\sqrt{\frac{m}{k}}\right)^2 + \frac{5F}{9k} = \\ &= \frac{F}{k} \left[ -\frac{1}{18} \cos\sqrt{3} \cdot 0,427\pi - \frac{1}{2} \cos 0,427\pi + \frac{1}{6} (0,427\pi)^2 + \frac{5}{9} \right] = \\ &= \frac{F}{k} \left[ -\frac{1}{18} \cos\sqrt{3} \cdot 0,427\pi - \frac{1}{2} \cos 0,427\pi + \frac{1}{6} (0,427\pi)^2 + \frac{5}{9} \right] = 0,78 \frac{F}{k} \end{aligned}$$

и разовьет скорость

$$\begin{aligned} v_1(\tau_3) &= \frac{F}{6\sqrt{3km}} \sin\sqrt{\frac{3k}{m}} \cdot 0,427\pi\sqrt{\frac{m}{k}} + \frac{F}{2\sqrt{km}} \sin\sqrt{\frac{k}{m}} \cdot 0,427\pi\sqrt{\frac{m}{k}} + \frac{F}{3m} \cdot 0,427\pi\sqrt{\frac{m}{k}} = \\ &= \frac{F}{\sqrt{km}} \left( \frac{1}{6\sqrt{3}} \sin\sqrt{3} \cdot 0,427\pi + \frac{1}{2} \sin 0,427\pi + \frac{1}{3} \cdot 0,427\pi \right) = \frac{F}{\sqrt{km}}. \end{aligned}$$

Уместно сравнить эти показатели с соответствующими величинами для недеформируемого состава.

$$\begin{aligned} a &= \frac{F}{3m}, \quad v = \frac{F}{3m}t, \quad x = \frac{F}{6m}t^2, \\ x(\tau_3) &= \frac{F}{6m} \left(0,427\pi\sqrt{\frac{m}{k}}\right)^2 = 0,3 \frac{F}{k}, \\ v(\tau_3) &= \frac{F}{3m} \cdot 0,427\pi\sqrt{\frac{m}{k}} = 0,45 \frac{F}{\sqrt{mk}}, \\ \frac{x_1(\tau_3)}{x(\tau_3)} &= 2,6, \quad \frac{v_1(\tau_3)}{v(\tau_3)} = 2,22. \end{aligned}$$

Отношение для кинетических энергий локомотива составляет

$$\frac{E_1(\tau_3)}{E(\tau_3)} = 4,93.$$

Применение упруго деформируемых сцепок решает проблему трогания тяжелого поезда.

В таблицу сведены перемещения, скорости и кинетические энергии локомотива для моментов максимального растяжения упругой сцепки, отнесенные к соответствующим параметрам недеформируемого состава.

Таблица

**Приведенные перемещения, скорости и кинетические энергии локомотива**

Количество секций поезда	$\frac{x_1(\tau)}{x(\tau)}$	$\frac{v_1(\tau)}{v(\tau)}$	$\frac{E_1(\tau)}{E(\tau)}$
2	1,81	1,64	2,69
3	2,6	2,22	4,93

Полученные соотношения наглядно свидетельствуют о том, что трогание состава с упругими сцепками значительно легче, чем недеформируемого. При этом чем больше число вагонов, тем больше преимущество первого над вторым.

Смягчение режима трогания состава по существу обуславливается заменой одновременного трогания секций на поочередное. Выше этот процесс описан

для инерционных сил. Применительно к силе трения покоя механизм будет подобным, т.е. преодолевается не вся сила трения покоя одновременно, а поочередно преодолеваются ее малые части.

Полученные выражения для перемещений, скоростей и ускорений локомотива и вагонов имеют гармонические составляющие. Для исключения продольных колебаний состава [5–7] после достижения максимального растяжения сцепки следует механически блокировать возможность ее гармонического сжатия [8–10] с последующей выборкой упругой деформации, например, с использованием демпфирующих устройств.

## Литература

1. Коссов, Е. Е. К вопросу совершенствования методов имитации поездной работы маневрового тепловоза / Е. Е. Коссов, И. А. Кузнецова // Вестник научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. – 2013. – № 1. – С. 22–26.
2. Попов, И. П. Математическая модель искусственной электрической емкости для снижения пиковой нагрузки маневрового тепловоза / И. П. Попов. – DOI: 10.15593/2499-9873/2019.3.03 // Прикладная математика и вопросы управления. – 2019. – № 3. – С. 57–64.
3. Попов, И. П. Сглаживание нагрузки маневрового тепловоза / И. П. Попов // Вестник Вологодского государственного университета. – 2019. – № 2 (4). – С. 19–21.
4. Попов, И. П. Исследование резонансов в технических системах / И. П. Попов // Вестник Вологодского государственного университета. – 2019. – № 2 (4). – С. 15–18.
5. Попов, И. П. Инертная колебательная система из двух грузов для вибрационных механизмов / И. П. Попов // Вестник Вологодского государственного университета. – 2020. – № 2 (8). – С. 10–12.
6. Попов, И. П. Использование инертного триплетного маятника в вибрационных сортировальных машинах / И. П. Попов // Вестник Вологодского государственного университета. – 2020. – № 3 (9). – С. 11–13.
7. Попов, И. П. Построение вибрационных сортировальных машин по схеме мультиинертного осциллятора / И. П. Попов // Вестник Вологодского государственного университета. – 2020. – № 3 (9). – С. 14–17.
8. Попов, И. П. Диссипативная, реактивная и полная мощности виброприводов машин / И. П. Попов // Вестник Вологодского государственного университета. – 2019. – № 3 (5). – С. 72–74.
9. Попов, И. П. Исследование вынужденных колебаний механических систем / И. П. Попов // Вестник Вологодского государственного университета. – 2019. – № 4 (6). – Ч. 1. – С. 21–25.
10. Попов, И. П. Исследование вынужденных колебаний механических систем // Вестник Вологодского государственного университета. – 2020. – № 1 (7). – Ч. 2. – С. 27–32.

***I.P. Popov***  
*Kurgan State University*

### **DRIVING A MULTI-LINK KINEMATIC CHAIN WITH ELASTIC LINKS**

The article discusses a scheme for connecting inert elements of a long kinematic chain with elastic links, an alternative to the one widely used in practice. The proof of the advantages of the proposed scheme over the existing one is given. The method of calculating the driving of the kinematic scheme in the composition of two and three components is presented. On the basis of the proposed methodology, a dynamic calculation was performed using the example of a train consisting of a locomotive and one or two cars. It is shown that the higher the number of its sections, the higher the efficiency of the proposed scheme. The research results can be used in the design of multi-link vehicles.

Acceleration, energy, mass, section, locomotive, kinematic circuit, oscillations, damper.



**С.В. Яняк, И.И. Комиссарова**  
Вологодский государственный университет

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА И АНАЛИЗ РЕЖУЩИХ СВОЙСТВ ТВЕРДЫХ СПЛАВОВ НА ОСНОВЕ КАРБИДА ТИТАНА СО СТАЛЬНЫМИ СВЯЗКАМИ

Экспериментально установлен низкий уровень режущих свойств твердых сплавов на основе 70 % карбида титана со стальными связками. Свойства сталей (твердость, прочность, вязкость, износостойкость) не оказывают принципиального влияния на износ сплавов резанием. Стали карбидного класса (доэвтектоидные, заэвтектоидные, ледебуритные) и аустенитного класса не обеспечивают сплавам приемлемого уровня режущих свойств из-за недостаточной теплостойкости этих сталей. Установлены корреляционные связи между твердостью, прочностью при изгибе, износостойкостью сплавов, «горячей» твердостью стали, с одной стороны, и износом сплавов при резании – с другой.

Твердый сплав, карбид титана, сталь, твердость, прочность, износ, теплостойкость.

Экспериментальные работы показали, что твердые сплавы с железной связкой (30 %) на основе разных карбидов (70 % масс. – TiC, VC, NbC, TaC, Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub>, Mo<sub>2</sub>C, WC) не обладают механическими и режущими свойствами, необходимыми для их промышленного применения [1–4]. Износ по задней поверхности резцов из этих сплавов оказался в 20–50 раз интенсивнее резца из классического сплава T15K6 [4]. Это объясняется недостаточным уровнем основных механических свойств сплавов (прочности и износостойкости) [2, 3] и низкой теплостойкостью железной связки. Вполне обоснованным является наше предложение: заменить железную связку на стальную с более высоким уровнем свойств.

Цель работы – установление закономерностей влияния химического состава (легирующих компонентов и углерода), структуры, свойств (прочности при растяжении и при изгибе, твердости, пластичности, ударной вязкости, теплостойкости) сталей на режущие свойства твердых сплавов TiC – сталь.

Информационный поиск показал, что работы по твердым сплавам и карбидостаям (с меньшим содержанием TiC) проводились разными исследователями (А. Киффер, Э. Эйманс, М. Эпнер, М. Кумар, С. Сайто, Т. Гибас – за границей, С.С. Кипарисов, М.С. Ковальченко, В.М. Слепцов, В.Н. Анциферов – в нашей стране). В качестве стальных связок использовались известные стали либо карбидного класса (P6M5, P18, X12M, X6B3M, X4H2M8), либо аустенитного класса (X18H9, X17H15). Приведены данные по механическим свойствам, испытания режущих свойств не опубликованы.

В качестве объекта для экспериментальной оценки и анализа свойств нами выбраны твердые сплавы на основе 70 % карбида титана с разными стальными связками. Карбид титана выбран как самое привлекательное для промышленного использования твердое соединение: недефицитен, имеет высокую микротвердость. Недостатком является его низкий уровень взаимодействия с железом при спекании: плохая сма-

чиваемость, слабые межфазовые границы, малая растворимость в феррите, т.е. незначительное упрочнение легированием железной связки. Высокое содержание в сплавах связки (30 %, не характерное для режущих сплавов) выбрано для усиления влияния связки, для оценки роли легирующих компонентов стали на свойства сплава.

В качестве связки выбраны стали разных структурных классов с разными легирующими компонентами и разными свойствами:

1. Сталь X23H28M3ДЗТ (по данным химического анализа – X24H24M3ДЗТ1) – высоколегированная сталь стабильного аустенитного класса. Механические свойства: высокая пластичность ( $\delta=40\text{--}45\%$ ,  $\psi=49\text{--}57\%$ ), твердость в отожженном состоянии HV160, после закалки – HV200, горячая твердость HV<sub>700</sub><sup>0</sup>180, предел прочности при растяжении  $\sigma_b=700$  МПа, высокая ударная вязкость  $\alpha_n=1900$  кДж/м<sup>2</sup>. Интерес представляет влияние на свойства сплава стабильной аустенитной структуры, высокого содержания хрома и никеля, высокой вязкости и пластичности стали.

2. Сталь X11H3Г9ДТЮ (X11H3Г10ДТ2Ю1) – высоколегированная сталь переходного аустенитомартенситного класса. Механические свойства: высокая пластичность ( $\delta=50\text{--}52\%$ ,  $\psi=60\text{--}65\%$ ), сопровождающаяся упрочнением, твердость HV180,  $\sigma_b=750$  МПа,  $\alpha_n=1400$  кДж/м<sup>2</sup>. Выясняется влияние хрома и марганца, переходной структуры, высокой вязкости стали.

3. Сталь У7А – углеродистая доэвтектоидная сталь. Механические свойства  $\delta=7\%$ ,  $\psi=10\%$ , после отжига HV170, горячая твердость HV<sub>700</sub><sup>0</sup>80,  $\sigma_b=550$  МПа,  $\alpha_n=250$  кДж/м<sup>2</sup>. Выясняется влияние перлитной структуры, углерода на структуру и свойства сплава.

4. Сталь 6Х4М2ФС – заэвтектоидная легированная высокопрочная штамповая сталь. Механические свойства:  $\delta=15\%$ ,  $\psi=20\%$ , твердость после отжига HV190,  $\sigma_b=900$  МПа; после закалки HRC60, прочность при изгибе  $\sigma_u=4200$  МПа,  $\alpha=1600$  кДж/м<sup>2</sup>, горячая твердость HV<sub>700</sub><sup>0</sup>100. Изучается влияние легированного перлита.

5. Сталь ХЗФ12 (Х4Ф12) – высоколегированная износостойкая штамповая сталь ледебуритного класса (по износостойкости превосходит сталь Х12М). Механические свойства:  $\delta=10\%$ ,  $\psi=16\%$ , после отжига твердость HV280, горячая твердость HV<sub>700</sub><sup>0</sup>180, после закалки HRC65,  $\sigma_{\text{н}}=2200$  МПа. Изучается влияние высокого содержания (до 35 % по объему в структуре) высокотвердого карбида ванадия в составе дисперсной ванадиевой эвтектики.

6. Сталь 60Х15Ф (60Х13Ф) – хромистая нержавеющая сталь феррито-карбидного класса. Механические свойства:  $\delta=12\%$ ,  $\psi=18\%$ , в отожженном состоянии HV200,  $\sigma_{\text{в}}=900$  МПа, после закалки HRC57,  $\sigma_{\text{н}}=2400$  МПа,  $\alpha_{\text{н}}=100$  кДж/м<sup>2</sup>, горячая твердость HV<sub>700</sub><sup>0</sup>140. Устанавливается влияние хрома в составе хромистого феррита и специальных карбидов стали на свойства сплава.

Результаты химического анализа порошковых сталей приведены в таблице 1.

Химический состав соответствует марочным обозначениям сталей: Х24Н24МЗДЗТ1, Х11НЗГ10ДТЮ1, У7А, 6Х4М2Ф1С1, Х4Ф12, 60Х13Ф.

Порошковые стали были изготовлены на Ново-Тульском металлургическом комбинате распылением в аргоне. Образцы и режущие пластины были изготовлены по технологии, включающей размол шихты (70 % TiC + сталь) в этиловом спирте, прессование, пластифицирование, спекание в вакуумных электропечах.

Износ абразивом 24А5 выполнен на оригинальной установке (внутри вращающегося барабана в течение 5 мин).

Материалы по экспериментальной оценке и анализу твердости, прочности при изгибе, износу абразивом сплавов TiC – железо с содержанием карбида титана 70–90 % и сплавов 70 % TiC – стальные связки опубликованы в наших работах [5–7].

Испытания резанием проведены при полуставном точении (скорость резания 100 м/мин, подача 0,15 мм/об, глубина 1 мм) стали 45 (HB140). Режущие пластины с размерами 12,7×12,7×4,7 мм (с четырьмя вершинами) устанавливались с механическим креплением в корпус реза. Элементы геометрии:  $\alpha=6^\circ$ ,  $\gamma=-6^\circ$ ,  $\phi=\phi_1=45^\circ$ ,  $r=0,8$  мм. Критерий износа  $h_3/T$  определялся по отношению ширины ленточки износа по задней поверхности к периоду стойкости реза [4, 8, 9].

Результаты экспериментальной оценки свойств сплавов приведены в таблице 2.

В сравнении со стандартным сплавом Т15К6 ( $h_3/T=0,02$  мм/мин) все экспериментальные сплавы показали низкий уровень режущих свойств ( $h_3/T=0,55-1,25$  мм/мин). Одна из причин – недостаточное содержание в сплаве твердой карбидной основы (70 % TiC), тогда как в режущем сплаве Т15К6 содержание карбидов – 94 % (TiWC+WC). Другие причины высокого уровня режущих свойств сплава Т15К6 связаны с высокой твердостью (HRA90), более высокой прочностью при изгибе (1250 МПа) и, главное, с высокой теплостойкостью (850 °С) сплава, которая обеспечена особым типом структуры кобальтовой связки с упрочнением дисперсными интерметаллидами типа Co<sub>6</sub>W<sub>5</sub>.

Таблица 1

Химический состав порошков сталей, % масс.

№ п/п	Марка стали	C	Cr	Ni	Mo	Mn	V	Cu	Ti	Si	Al
1	Х23Н28МЗДЗТ	0,01	24,03	24,1	3,11	0,06	-	2,62	0,54	0,32	-
2	Х11НЗГ9ДТЮ	0,03	11,43	3,12	-	9,75	-	1,22	2,07	0,26	1,2
3	У7А	0,72	-	-	-	0,30	-	-	-	0,35	-
4	6Х4М2ФС	0,82	3,80	-	2,17	-	0,88	-	-	0,76	-
5	ХЗФ12	3,25	4,41	-	-	-	11,94	-	-	0,22	-
6	60Х15Ф	0,60	12,85	-	-	-	0,05	-	-	0,31	-

Таблица 2

Режущие и механические свойства твердых сплавов на основе карбида титана со стальными связками

№ п/п	Состав сплава, % масс.	Износ резанием $h_3/T$ , мм/мин	Прочность при изгибе, МПа	Твердость HRA	Износ абразивом, мг
1	70 % TiC, 30 % Fe	0,78	790	86	20,2
2	70 % TiC, 30 % сталь Х23Н28МЗДЗТ	0,55	690	85,5	24,8
3	70 % TiC, 30 % сталь Х11НЗГ9ДТЮ	0,60	550	85,5	20,8
4	70 % TiC, 30 % сталь ХЗФ12	0,95	500	85	32,5
5	70 % TiC, 30 % сталь 60Х15Ф	1,15	460	84,5	-
6	70 % TiC, 30 % сталь 6Х4М2ФС	1,25	450	84	-
7	70 % TiC, 30 % сталь У7А	0,83	720	86	25,6

Корреляционные связи свойств позволяют определить пути повышения режущих свойств сплавов на основе карбида титана со стальной связкой.

Явная корреляция установлена между износом резанием и твердостью сплавов (рис. 1): с увеличением твердости износ резанием уменьшается. Повышение твердости сплава может быть достигнуто за счет увеличения содержания TiC до 85–90 % [5]. Как показано в наших работах [4, 8], у сплава 85 % TiC, 15 % Fe износ резанием  $h_3/T=0,25$  мм/мин при твердости HRA89,5. Повышение твердости может быть также достигнуто путем упрочнения связки и улучшения ее взаимодействия с карбидом титана.

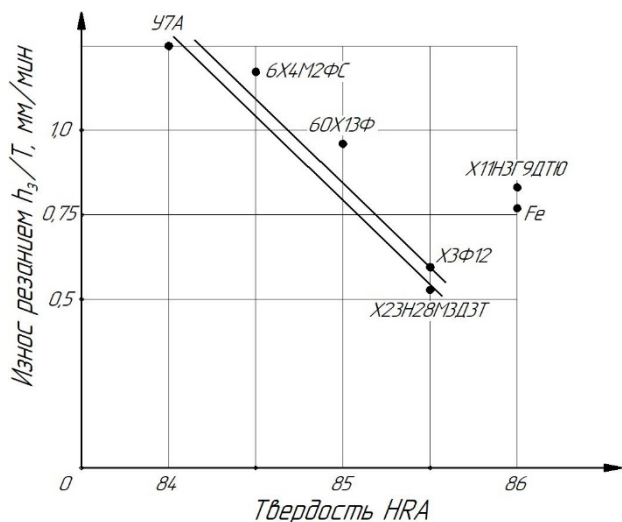


Рис. 1. Влияние твердости на износ резанием сплавов 70 % TiC – сталь

Как тенденция, хотя и с большим разбросом значений, обнаружена связь между износом резанием и прочностью сплавов (рис. 2). Повышение прочности способствует уменьшению выкрашивания режущей кромки и износа резанием. Повышение прочности (так же, как и твердости) сплавов достигается путем упрочнения связки и улучшения ее взаимодействия с карбидом титана.

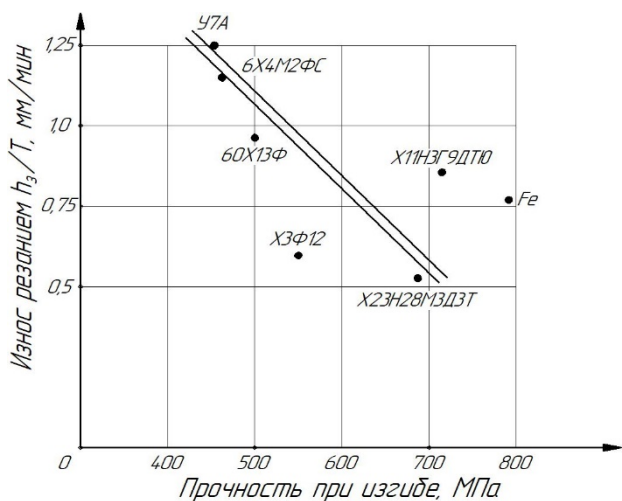


Рис. 2. Влияние прочности при изгибе на износ резанием сплавов 70 % TiC – сталь

Корреляционная связь просматривается между износом резанием и износом абразивом (рис. 3): с уменьшением износа абразивом износ резанием снижается. Это связано с примерно одинаковым характером разрушения режущей кромки и поверхности трения образца путем выкрашивания карбидных зерен [3, 4]. Снижение абразивного износа достигается путем увеличения содержания карбидов [5, 6], упрочнения связки, улучшения ее взаимодействия с карбидом титана, а также за счет оптимизации размеров карбидных зерен [3].

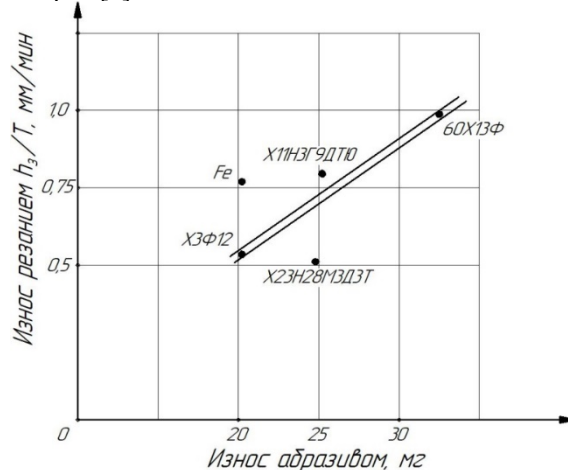


Рис. 3. Влияние износа абразивом на износ резанием сплавов 70 % TiC – сталь

Наиболее важной, на наш взгляд, является корреляционная связь износа резанием с «горячей» твердостью (рис. 4). С минимальным разбросом в одну линию выстроились экспериментальные точки всех сплавов со стальными связками. Удаление точки сплава с железной связкой от общей линии, возможно, вызвано оценкой «горячей» твердости чистого железа, тогда как в сплаве с карбидом титана в феррите растворяется от 1 до 2 % титана, что может существенно повысить «горячую» твердость железной связки. Можно уверенно утверждать, что с повышением «горячей» твердости (теплостойкости) связки износ резанием монотонно снижается, особенно при более высокой скорости резания.

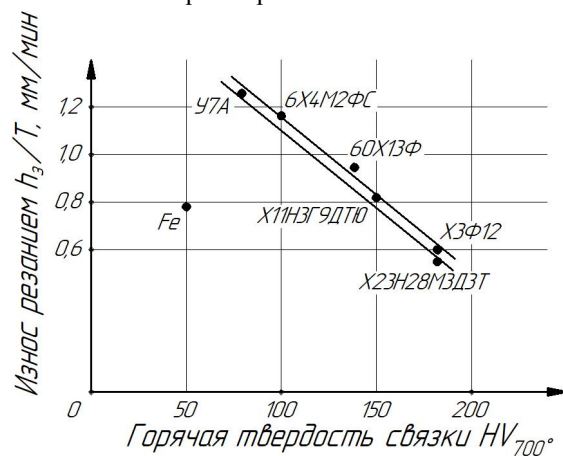


Рис. 4. Влияние теплостойкости (горячей твердости) стальной связки на износ резанием сплавов 70 % TiC – сталь

Влияние легирующих компонентов стали на режущие свойства сплавов на основе карбида титана однозначно не установлено. Хром, марганец, никель (даже в больших количествах) не улучшают взаимодействие между карбидом титана и сталью (если судить по уровню механических свойств сплавов). Однако эти и другие компоненты через образование того или иного типа структуры влияют на теплостойкость сплава, а значит, на его режущие свойства. Общая тенденция: с увеличением содержания легирующих компонентов в стали износ резания сплава уменьшается. Тип структуры стали должен обеспечить ей наибольшую теплостойкость.

Что касается таких собственных свойств сталей, как: прочность, пластичность, вязкость – они себя никак не проявили. Можно сделать осторожный вывод, что эти свойства не влияют напрямую на режущую способность сплавов TiC – сталь. Прочность и вязкость связки должны поддерживать сопротивление разрушению режущего клина в условиях динамического нагружения при резании. Пластичность связки как эксплуатационное свойство противопоказана твердым сплавам, так как снижает сопротивление сплава пластической деформации, то есть его твердость.

В эффективном режущем твердом сплаве должно быть достаточно высокое содержание карбидной основы (~80–90 % масс.) и стальная связка с высокой теплостойкостью, упрочненная легированием, с повышенным взаимодействием с карбидной основой на базе карбида титана.

#### Литература

1. Исследование показателей, определяющих режущие свойства инструментальных твердых сплавов при обработке труднообрабатываемых материалов / В. В. Постнов, С. Х. Хадиуллин, Е. Н. Малахов, С. В. Старовойтов // Вестник Уфимского государственного авиационного технического университета. – 2012. – Т. 16, № 8 (53). – С. 118–125.
2. Учкин, П. Г. Использование порошков с добавлением карбида вольфрама для плазменной наплавки рабочих органов глубокорыхлителей / П. Г. Учкин, В. А. Шахов // Известия Оренбургского государст-

венного аграрного университета. – 2017. – № 6 (68). – С. 92–96.

3. Никифоров, В. Технология металлов и других конструкционных материалов / В. Никифоров. – Санкт-Петербург: Политехника, 2015. – 382 с.

4. Яняк, С. В. Экспериментальная оценка свойств твердых сплавов на основе карбида титана со стальными связками / С. В. Яняк, Г. Ю. Пивень // Актуальные проблемы науки и практики в различных отраслях народного хозяйства. Материалы национальной научно-практической конференции (Пенза, 28–29 марта 2018 г.). Часть 4: Технические науки / Пензенский ГУАиС. – Пенза, 2018. – С. 204–209

5. Яняк, С. В. Влияние содержания карбида титана на свойства твердых сплавов с железной связкой / С. В. Яняк, Г. Ю. Пивень // Актуальные проблемы науки и практики в различных отраслях народного хозяйства. Сборник докладов Национальной научно-практической конференции (Пенза, 28–29 марта 2018 г.). – Пенза, 2018. – Ч. 4. – С. 210–214.

6. Комиссарова, И. И. Экспериментальная оценка и анализ износостойкости материалов / И. И. Комиссарова, С. В. Яняк, И. О. Берсенев // Вестник Вологодского государственного университета. – 2018. – № 2 (2). – С. 6–10.

7. Яняк, С. В. Экспериментальная оценка свойств твердых сплавов на основе карбида титана со стальными связками / С. В. Яняк, Г. Ю. Пивень // Актуальные проблемы науки и практики в различных отраслях народного хозяйства. Сборник докладов Национальной научно-практической конференции (Пенза, 28–29 марта 2018 г.). – Пенза, 2018. – Ч. 4. – С. 204–209.

8. Яняк, С. В. Режущие свойства твердых сплавов на основе карбида титана с железной связкой / С. В. Яняк, Г. Ю. Пивень // Вестник Вологодского государственного университета. – 2019. – № 3 (5). – С. 78–81.

9. Яняк, С. В. Методика и результаты экспериментальной оценки режущих свойств твердых сплавов TiC – железо / С. В. Яняк, В. Ю. Яблокова // Автоматизация и энергосбережение машиностроительного и металлургического производства: технология и надежность машин, приборов и оборудования: материалы XIV Международной научно-технической конференции. – Вологда, 2020. – С. 117–123.

*S.V. Ianiak, I.I. Komissarova*  
*Vologda State University*

#### EXPERIMENTAL ESTIMATION AND ANALYSIS OF CUTTING PROPERTIES OF TITANIUM CARBIDE-BASED HARD ALLOYS WITH STEEL BONDS

A low level of cutting properties of hard alloys based on 70% titanium carbide with steel bonds was experimentally established. The properties of steels (hardness, strength, toughness, wear resistance) do not fundamentally affect the wear of alloys by cutting. Steels of the carbide class (hypereutectoid, ledeburite) and austenitic class do not provide alloys with an acceptable level of cutting properties due to the insufficient heat resistance of these steels. Correlations have been established between the hardness, bending strength, wear resistance of alloys, "hot" hardness of steel, on the one hand, and wear of alloys during cutting, on the other.

Carbide, titanium carbide, steel, hardness, strength, wear, heat resistance.



*А.Г. Кузьмин, М.Ф. Умаров*  
Вологодский государственный университет

## ИНТЕГРАЦИЯ СОВРЕМЕННЫХ МЕДИЦИНСКИХ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

В данной работе рассмотрена возможность повышения эффективности за счет сочетания информационной технологии и медицинской инженерии в лечебных учреждениях. Рассмотрены основные стандарты интеграции медицинских информационных систем, а также принципы и модели их работы.

Информационная технология, медицинская инженерия, стандарты, интерфейсы.

В настоящее время интеграция медицинской инженерии и информационных технологий (ИТ) последовательным и особенно стандартизированным образом позволяет лечебным учреждениям существенно повысить свою эффективность. Это обеспечивает оптимизацию процесса ведения медицинской документации и организационные преимущества в плане управления используемым интерфейсом. Сочетание ИТ и медицинской инженерии приобретает всё большую актуальность. Ранее с медицинскими устройствами были соединены только персональные компьютеры (ПК), но современные системы, включающие медицинские устройства и ПК, медицинские устройства с комплексной ИТ-инфраструктурой или медицинские устройства со встроенным сетевым интерфейсом, непосредственно интегрированы в ИТ-сети. Помимо формирования результатов медицинских исследований, многие системы обеспечивают поддержку медицинского и санитарного персонала в процессе составления медицинской документации, а также при планировании лечения, терапии и ухода [1–3].

Интеграция медицинской инженерии с информационными технологиями согласуется с руководствами лечебного учреждения с целью обеспечения высочайшего качества лечения, постановки клинического диагноза и документирования процесса лечения в условиях устойчиво растущих требований экономии. Это обеспечивается путем сочетания медицинских и административных подходов [4, 5].

Цель данной работы заключается не только в достижении повышенной эффективности документооборота, но и в реализации потенциала экономии в плане времени и средств за счет интеграции ИТ и медицинской инженерии.

Для достижения данной цели можно использовать различные стандарты. Для полной интеграции используемые стандарты подразделяются на две группы [6]:

1. Обмен данными между двумя системами (стандарты интерфейсов).
2. Стандарты для структуры данных, подлежащих передаче (структура данных).

Согласно определению интерфейс описывается с помощью набора следующих правил: стандартизированные интерфейсы являются взаимно совместимыми, т.е. компоненты или модули, которые поддерживают один интерфейс, могут обмениваться данными друг с другом. Рассмотрим наиболее важные стандарты, применяемые в здравоохранении.

**Health Level 7 (HL7)** – это международный стандарт обмена, управления и интеграции медицинской информации в здравоохранении [7]. В HL7 поддерживаются следующие типы сообщений:

- основные данные пациентов и данные их пребывания в лечебном учреждении;
- запрос на исследование;
- перевод данных;
- перевод рабочих данных для финансового учета;
- перевод рабочих данных в соответствии с Международной классификацией процедур и операций в медицине;

- сообщения управления документацией.

**DICOM** – идентичен Международному стандарту, представляет открытый стандарт для обмена цифровыми изображениями и их архивирования в медицине.

Стандарт DICOM обеспечивает стандартизацию формата хранения данных, а также протокола связи для обмена данными. Для архивирования цифровых изображений, а также для долгого хранения и обмена изображениями используется PACS (системы передачи и архивации DICOM-изображений).

Основные важные функции DICOM:

- проверка – подтверждение сетевого узла DICOM;
- хранение – хранение объектов данных;
- запрос/получение – поиск объектов на устройстве DICOM и передача их на другое устройство DICOM;
- этап процедуры – информация о состоянии исследования;
- подтверждение сохранения – запрос, были ли сохранены переданные данные;
- управление рабочим списком – передача данных между системой планирования и устройством DICOM, на котором должно быть осуществлено исследование;

- представление состояния хранения – передача информации о том, как отображается или будет отображаться материал изображений;

- структурированная отчетность о хранении – закодированная передача медицинских данных;

- хранение открытых протоколов – хранение представления серий изображений и исследований.

**GDT** – это интерфейс для обмена данными устройств. Используется в качестве стандартизированного интерфейса между IT-системами и медицинскими устройствами. Интерфейс GDT составляет часть стандартного комплекта поставки. Данные, подлежащие обмену, вносятся в заранее предусмотренный список. Имя файла служит для однозначной идентификации партнеров по обмену данными и читается следующим образом: идентификатор получателя, идентификатор отправителя, порядковый номер.

Порядковый номер увеличивается для каждого нового сообщения. Таким образом, предотвращается возможность перезаписи более старых сообщений считывающим устройством перед обработкой. После надлежащей обработки сообщения клиентом файл в списке обмена клиента удаляется клиентом.

Второй по важности аспект в отношении интеграции медицинской инженерии и IT составляет проблема структуры содержания медицинского документа. Рассмотрим основных из этих структур.

**LOINC** является международно признанной системой для однозначного и понятного шифрования и дешифровки исследований.

LOINC представляет собой справочник общепринятых идентификаторов для описания исследований и результатов тестов лабораторий и клиник. LOINC рекомендован не только HL7, но и DICOM для структурированного обмена медицинскими данными и данными исследований.

**Alpha ID** – это идентификационный номер для диагнозов, представляющий сквозную нумерацию с указанием записей из алфавитного перечня МКБ 10-GM (Международная классификация болезней, 10-я редакция). С применением Alpha ID возможно осуществление обработки медицинских терминов в электронном виде. В связи с расширением Alpha ID в бу-

дущем до терминов за рамками диагностики эта терминология сможет использоваться не только для кодирования диагнозов.

**ИДО** – это идентификаторы объектов. Для стандартизированного обмена медицинской информацией программное обеспечение интегрированных средств передачи и обработки информации требует наличия объектов данных, т.е. объекты и сообщения должны быть ясно определены. ИДО представляют собой последовательности чисел для идентификации этих объектов и сообщений. В этом случае объекты – это информационные единицы, такие как учреждения, классификации, информации, документы или таблицы. Если ИДО используются для стандартизированного обмена данными между программными системами, обеспечивается интеграция данных между системами.

При технической реализации интерфейса медицинского устройства и IT-сети задействуются как IT, так и как медицинская инженерия. Однако с организационной точки зрения связанный с содержанием результат оказывает влияние на процесс лечения в больнице, а в контексте организационной функции содержание формируется в процессе лечения и оказывает влияние на всю больничную структуру.

Обмен данными подсистем в больнице может быть оптимизирован с использованием коммуникационного сервера HL7 [7]. Эти компоненты обеспечивают отсутствие необходимости в отдельном интерфейсе для каждой отдельно взятой подсистемы. Преимущество применения коммуникационного сервера заключается в снижении количества интерфейсов, поскольку при этом не требуется подключение каждой отдельной подсистемы через отдельный интерфейс. Это, в свою очередь, приводит к более стандартизированному и упрощенному обмену потоками данных, а также сокращению издержек, поскольку каждый отдельный интерфейс имеет свое выражение в денежном эквиваленте. Если спроецировать методику применения коммуникационного сервера HL7 на интеграцию медицинских устройств, полученная в результате этого системная среда будет соответствовать рисунку 1.



Рис. 1. Интеграция медицинских устройств в сервер интерфейса



### Литература

1. Леонов, С. А. Интеграция здравоохранения, образования и информационно-коммуникационных технологий в рамках цифровизации отечественной медицины / С. А. Леонов // Актуальные проблемы экономики и управления. – 2018. – 3 (19). – С. 35–39.

2. Evdokimov, I. V. The use of online applications for project management for planning in IT-management / I. V. Evdokimov, V. S. Domantsevich, V. A. Konyhov // Современные информационные технологии. – 2017. – 25 (25). – С. 44–47.

3. Карпов, О. Э. Интеграция медицинской информационной системы и системы административно-хозяйственной деятельности как инструмент оптимизации процессов медицинской организации. Отдельные проблемы и пути их решения / О. Э. Карпов, М. Ю. Гавришев, Д. В. Шишканов // Современные наукоемкие технологии. – 2016. – № 9-1. – С. 46–50.

4. Информатизация здравоохранения и некоторые проблемы построения интегрированных медицинских информационных систем, 2011. – URL: <http://jre.cplire.ru/win/sep11/2/text.html> (дата обращения: 10.06.2021). – Текст : электронный.

5. Интерфейсы работы с медицинским оборудованием и стандарты передачи медицинской информации, 2016. – URL: [http://old.ci.ru/inform23\\_06/it.htm](http://old.ci.ru/inform23_06/it.htm) (дата обращения: 10.06.2021). – Текст : электронный.

6. Емелин, И. В. Интеграция стандартов медицинской информации, 2009. – URL: [http://medlan.samara.ru/sites/default/files/upload\\_files/upload\\_files/upload\\_file\\_s.pdf](http://medlan.samara.ru/sites/default/files/upload_files/upload_files/upload_file_s.pdf) (дата обращения: 10.06.2021). – Текст : электронный.

7. История развития стандартов HL7, 2016. – URL: <http://evercare.ru/istoriya-razvitiya-standartov-hl7> (дата обращения: 10.06.2021). – Текст : электронный.

*A.G. Kuzmin, M.F. Umarov*  
*Vologda State University*

### INTEGRATION OF MODERN MEDICAL INFORMATION TECHNOLOGIES

In this paper, we consider the increased efficiency due to information technology and medical engineering in medical institutions. The main standards of integration of medical information systems, as well as the principles and models of their work are considered.

Information technology, medical engineering, standards, interfaces.



## ПРОГРАММНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ПЛАНИРОВАНИЯ ПРОГРАММНЫХ ПРОЕКТОВ

В статье описано применение программных и методических средств для управления проектами. Обоснована актуальность создания программно-методического комплекса для планирования программных проектов. Представлена архитектурная модель комплекса, структура атрибутов работ, характеристики компонентов программного и методического обеспечения, сценарий и алгоритм применения комплекса. В исследовании использованы современные международные и отечественные стандарты и методики, позволяющие сформировать типовую иерархическую структуру работ программного проекта, оценить трудоемкость работ. Предложено средство управления изменениями в составе типовой структуры работ и их характеристиках, рекомендации по использованию программно-методического комплекса в учебном процессе в вузе.

Архитектурная модель, иерархическая структура работ, индикаторы сформированности компетенций, программная инженерия, трудоемкость проекта, управление проектами.

Планирование и управление проектами в современных условиях осуществляется с помощью доступных на рынке или специально разработанных для конкретной отрасли или предприятия программных продуктов – автоматизированных средств управления проектами (далее – СУП). Результаты исследования наиболее популярных СУП [1] наряду с их неоспоримыми достоинствами выявили и два существенных недостатка: отсутствие в них инструментов автоматизации формирования иерархической структуры работ (далее – ИСР) и расчета трудоемкости отдельных видов проектных работ.

Первую из обозначенных проблем планировщик проекта решает обычно использованием шаблонов ИСР, которые, как правило, представлены в текстовом или табличном формате, позволяющем выполнить их импорт в СУП. Далее следует корректировка шаблона путем удаления лишних работ, добавления оригинальных и выстраивания между ними логических связей, последовательности выполнения и взаимозависимости по ресурсам и результатам.

Следующая ручная операция – определение ресурсоемкости работ, которое выполняется, как правило, экспертным методом с учетом особенностей проектируемого объекта, команды проекта, средств разработки и проч.

Применительно к отрасли программной инженерии существуют и развиваются общепризнанные международные стандарты процессов жизненного цикла программных средств и проектного менеджмента [2–6], содержащие в описаниях процессов все необходимые виды деятельности и задачи, результаты их выполнения и взаимосвязи, которые могут быть положены в основу типовой ИСР программного проекта. Таким образом, вместо «самодельного» шаблона ИСР, созданного на основе личного опыта планировщика и привычной ему системы понятий, есть воз-

можность создать и поддерживать в актуальном состоянии типовую ИСР, использующую рекомендации и терминологию современных отраслевых стандартов.

С другой стороны, известны различные методики определения трудоемкости и стоимости разработки программных продуктов, использующие как объемные [7], так и функциональные [8, 9] оценки. Применение таких методик позволяет избежать главного недостатка экспертных оценок – существенных погрешностей в определении абсолютных значений трудоемкости работ, и более объективно и прозрачно для заказчика и соисполнителей проекта определять общую трудоемкость проекта, а также распределять ее по отдельным видам и пакетам работ согласно экспертным оценкам относительных значений трудоемкости работ, которые, как правило, бывают гораздо точнее абсолютных. В ряде случаев, например при подготовке конкурсных процедур для формирования государственного или корпоративного заказа на создание программных продуктов, расчет базовой величины трудоемкости и стоимости проекта по рекомендованной заказчиком методике является обязательным.

Авторами определены требования к сервисам формирования типовой ИСР и расчета ресурсоемкости программного проекта [1, 10], спроектированы и находятся в стадии кодирования и отладки соответствующие программные продукты, которые могут быть использованы совместно с СУП как в учебных, так и в практических целях. Интегрированные с СУП сервисы формирования ИСР и расчета трудоемкости проекта вместе с методиками их использования и отраслевой нормативной базой образуют программно-методический комплекс планирования программных проектов (далее – ПМК ППП). На рисунке 1 представлена архитектурная модель ПМК ППП. Процентка по работам – экспертная оценка относительной трудоемкости работ в % от общей трудоемкости проекта.

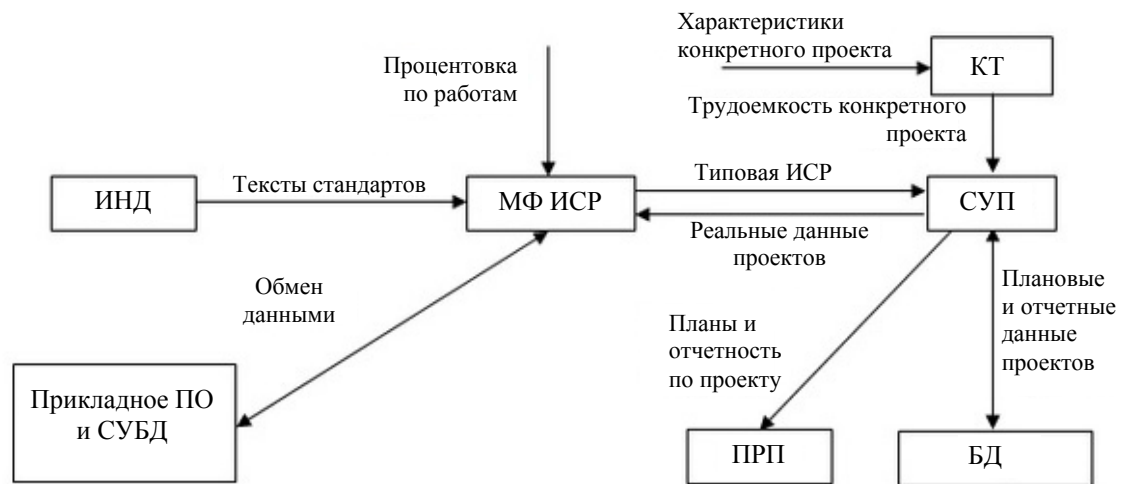


Рис. 1. Архитектурная модель ПМК ППП.

ИНД – источники нормативных данных; МФ ИСР – модуль формирования ИСР; Прикладное ПО и СУБД – интегрируемое в ПМК ППП с МФ ИСР программное обеспечение; КТ – калькулятор трудоемкости; БД – база данных проекта; ПРП – получатели результатов планирования; СУП – автоматизированные средства управления проектами

Связь источника с конкретной формулировкой работы фиксируется модулем формирования ИСР, поскольку тексты стандартов и их интерпретация в организации периодически изменяются. При помощи калькулятора трудоемкости проекта выполняется расчет трудоемкости по основным процессам проекта и его корректировка с учетом особенностей проекта и команды, сроков выполнения проекта. Принятые по рекомендациям методики СОСОМО II значения поправочных коэффициентов, учитывающих внутренние факторы, факторы среды и данных, записывают в базу данных проекта наряду с ИСР и распределением трудоемкости по отдельным пакетам.

Все характеристики фаз и работ спланированного проекта поступают в базу данных проекта и получателям результатов планирования.

В качестве коммуникационных средств для актуализации нормативной базы, обмена информацией между заинтересованными сторонами проекта в ПМК ППП могут использоваться облачные коммуникационные сервисы, клиенты корпоративной почтовой системы и/или системы электронного документооборота организации. Вместе с калькуляторами трудоемкости, МФ ИСР, СУП, прикладным ПО, например офисным пакетом, и СУБД они интегрируются в рамках ПМК ППП на уровне процедур обмена и форматов данных.

Методика освоения и применения программного комплекса предполагает следующий сценарий действий:

1. Подбор актуальных текстов стандартов проектного менеджмента и жизненного цикла программных средств [2–6].
  2. Обработка текста с помощью сервиса формирования ИСР, где в интерактивном режиме выделяются основные проектные работы, строится их иерархия с учетом взаимосвязей по последовательности выполнения и результатам и ссылками на источники.
  3. Импорт типовой ИСР в СУП, адаптация структуры к особенностям конкретного проекта.
  4. Экспертная оценка относительной трудоемкости работ и формирование соответствующих атрибутов.
  5. Вычисление в сервисе расчета трудоемкости проекта общих значений трудоемкости и срока выполнения проекта.
  6. Распределение в СУП общих значений трудоемкости по отдельным работам и объединение работ в пакеты.
  7. Формирование диаграммы последовательности событий и работ проекта (диаграмма Ганта).
- При необходимости изменения длительности выполнения проекта или предотвращения конкуренции за ресурсы пункты 5–7 выполняются повторно.

Таблица

**Пример записи атрибутов проектной работы**

Имя атрибута	Значение
Индекс работы в ИСР	3.1.2
Наименование работы	установить и документально оформить внешние интерфейсы продукта
Источник наименования	ГОСТ Р ИСО/МЭК 12207-2010
Связи по входам (индексы предыдущих работ)	2.4
Связи по выходам (индексы последующих работ)	3.2
Входимость в пакет работ (индекс пакета)	3.1
Трудоемкость относительная, %	0,02
Потребность в прочих ресурсах	ПК и средства разработки

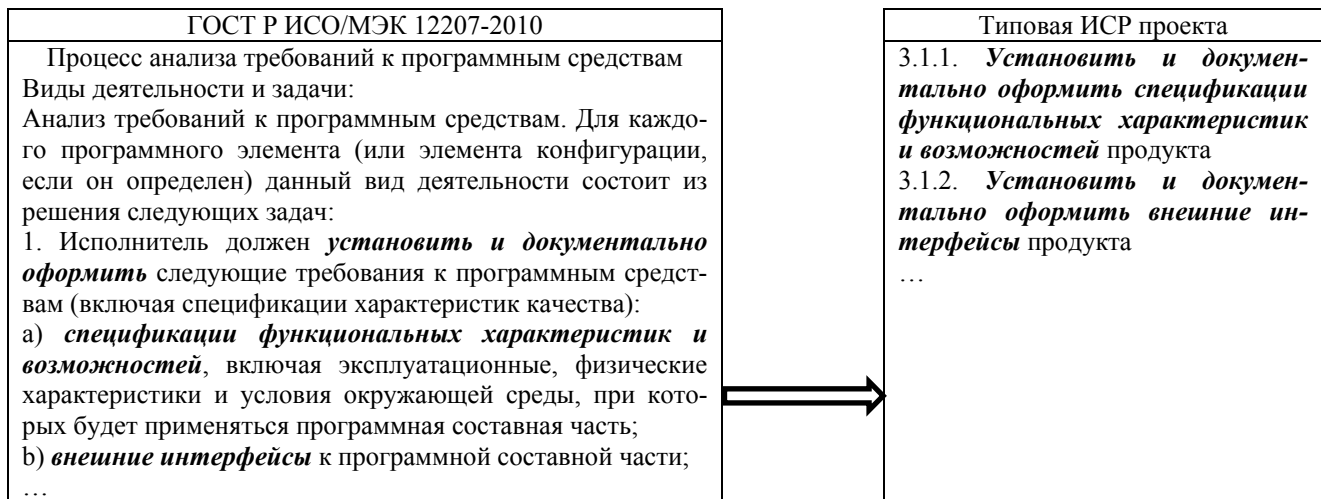


Рис. 2. Пример формирования названий работ из текста стандарта

Вся возможная деятельность в отношении программного продукта в стандартах разделена на процессы, виды деятельности и задачи, что существенно облегчает формирование структуры работ и возможное объединение отдельных работ в пакеты (рис. 2).

Методическая компонента ПМК ППП представлена в виде исходных текстов стандартов [2–6] и методик [7–9], руководства пользователя комплекса, системы контекстной поддержки пользователей через опцию меню «Помощь», реализуемую в каждом программном компоненте комплекса. Методическая часть комплекса требует регулярного сопровождения: обновление версий стандартов проектного менеджмента и программной инженерии, методик расчета трудоемкости проектных работ по мере их появления, переформирование типовой ИСР, внесение необходимых корректировок в программное обеспечение и системы контекстной поддержки пользователей.

Поскольку наряду с типовой ИСР, актуализированной в соответствии с последними версиями стандартов, в репозитории комплекса могут храниться ИСР проектов, сделанные по предыдущим версиям этих документов, в состав комплекса полезно интегрировать сервис управления версиями, например *am.Requirements* [11]. Продукт позволяет установить и отслеживать два вида связи между источниками информации и отдельными работами: родитель-потомок (иерархии стандарт программной инженерии или проектного менеджмента – процесс жизненного цикла – вид деятельности – задача) и ссылки между различными элементами данных. Это дает возможность отслеживать взаимное влияние требований различных стандартов и учитывать это влияние при внесении изменений в ИСР.

На 4 курсе бакалавриата по направлениям подготовки 09.03.01 и 09.03.04 преподается дисциплина «Управление программными проектами», предполагающая наряду с освоением теоретического материала лекционных занятий, выполнение ряда лабораторных и практических работ. В результате изучения дисциплины у обучающихся должны сформироваться профессиональные компетенции по планированию работ и управлению программными проектами.

Например, практическая работа № 1 «Процессы жизненного цикла программного продукта в соответствии со стандартом ГОСТ Р ИСО/МЭК 12207-2010» предлагает изучить указанный стандарт в его современной редакции и для разрабатываемого в рамках ВКР программного продукта представить в табличной и графической форме последовательность и взаимосвязь процессов и действий (на уровне видов деятельности или задач), необходимых для его создания, применения, поддержки и изъятия из обращения, имея в виду длительность жизненного цикла продукта – 5 лет. При помощи ПМК ППП обучающийся может изучить актуальную версию текста стандарта в электронном виде и более оперативно, чем в чисто ручном режиме, сформировать нужную последовательность и взаимосвязь стандартных процессов и действий, сравнив свой результат с уже сформированной в комплексе типовой ИСР.

Лабораторная работа № 9 «График разработки и внедрения программного продукта с учетом конкурирующих ресурсов» предлагает для программного продукта, создаваемого в ВКР, на основе данных предыдущих практических и лабораторных работ уточнить состав операций, перечень событий, определить взаимосвязи операций и их ресурсы, определить длительности операций и разработать расписание проекта (от начала разработки до завершения внедрения продукта у заказчика) и календари ресурсов. Расписание проекта предлагается представить в виде диаграммы Ганта или сетевого графика с комментариями по событиям, операциям и ресурсам.

В среде ПМК ППП обучающийся может на основе типовой ИСР программного проекта и результатов предыдущих практических и лабораторных работ, сохраненных в рамках его проекта в репозитории системы, выполнить все необходимые действия и получить качественный результат.

Использование ПМК ППП в учебном процессе позволяет на практике закрепить теоретические знания обучающегося по дисциплине и сформировать необходимые умения и навыки, в т.ч. навыки работы с современными средствами управления проектами.

Для оценки сформированности профессиональных компетенций обучающегося могут быть испол-

зованы индикаторы, рекомендованные в образовательных программах по направлениям подготовки и рабочей программе дисциплины «Управление программными проектами». Для автоматизации определения значений индикаторов сформированности компетенций возможна доработка комплекса путем введения в его состав сервисов контроля активности обучающегося в интерфейсе ПМК ППП, фиксации последовательности выполнения основных операций, времени, затраченного обучающимся на операцию, и проч.

В исследовании использованы современные международные и отечественные стандарты и методики, позволяющие сформировать типовую ИСП программного проекта, методики количественной оценки трудоемкости работ, разработаны архитектурная модель программно-методического комплекса планирования программных проектов, структура базы данных параметров отдельных видов работ, сервисы формирования ИСП и расчета трудоемкости проекта, методика и алгоритм применения программного комплекса, предложено средство управления изменениями в составе типовой структуры работ и их характеристиках, позволяющее поддерживать связи с источниками изменений, сформированы рекомендации по использованию программно-методического комплекса в учебном процессе в вузе.

#### Литература

1. Polianskii, A. Software product management: planning tool integration» / Andrey Polianskii, Darya Chukalova. – DOI : 10.1051/mateconf/202031102011.// IX Czarnowski Readings – Annual International Scientific and Practical Conference on the Organization of Production and Industrial Policy. MATEC Web Conf. – 2020. – Vol. 311, № 02011.
2. ISO/IEC/IEEE 12207:2017. Systems and software engineering – Software life cycle processes : официальный сайт. – URL: <https://www.iso.org/ru/standard/63712.html> (дата обращения: 24.03.2021). – Text : Electronic.
3. ISO/IEC/IEEE 15288:2015. Systems and software engineering. System life cycle processes : официальный сайт. – URL: <https://www.iso.org/ru/standard/63711.html> (дата обращения: 24.03.2021). – Text : Electronic.
4. ГОСТ Р 57193-2016. Системная и программная инженерия. Процессы жизненного цикла систем : введен 01.11.2017. – Москва : Стандартинформ, 2016. – 98 с.
5. ISO/IEC/IEEE 16326:2019. Systems and software engineering. Life cycle processes. Project management : официальный сайт. – URL: <https://www.iso.org/standard/75276.html> (дата обращения: 24.03.2021). – Text : Electronic.
6. ГОСТ Р ИСО 21500-2014. Руководство по проектному менеджменту : введен 01.03.2015. – Москва : Стандартинформ, 2015. – 52 с.
7. Software Engineering. COCOMO Model : официальный сайт. – URL: <https://www.geeksforgeeks.org/software-engineering-cocomo-model/> (дата обращения: 24.03.2021). – Text : Electronic.
8. International Function Point Users Group : официальный сайт. – URL: <https://www.ifpug.org/the-international-function-point-users-group-announces-the-release-of-version-4-3-of-the-counting-practices-manual/?lang=ru> (дата обращения: 24.03.2021). – Text : Electronic.
9. Методика расчета затрат на создание, развитие и сопровождение объектов информатизации государственных органов : утвержден приказом министра цифрового развития, инноваций и аэрокосмической промышленности Республики Казахстан от 27 июня 2019 года № 140/НК : сайт. – URL: <http://adilet.zan.kz/rus/docs/V1900018927> (дата обращения: 24.03.2021). – Текст : электронный.
10. Архитектура АРМ управления проектами / А. М. Полянский, Д. А. Чукалова // Автоматизация и энергосбережение в машиностроении, энергетике и на транспорте : материалы XV Международной научно-технической конференции. – Вологда : ВоГУ, 2021. – С. 22–28.
11. Система управления требованиями am. Requirements : сайт. – URL: <http://www.am-programs.ru/ReqProgrammDsc.shtml> (дата обращения: 24.03.2021). – Текст : электронный.

*A.M. Polianskii, D.A. Chukalova*  
*Vologda State University*

#### SOFTWARE AND METHODOLOGICAL COMPLEX FOR PLANNING SOFTWARE PROJECTS

The article discusses the use of software and methodological tools for project management. The urgency of creating a software-methodological complex for planning software projects has been substantiated. The architectural model of the complex, the structure of the attributes of the works, the characteristics of the software components and methodological support, the scenario and the algorithm for the application of the complex are presented. The study used modern international and domestic standards and techniques, which make it possible to form a typical work breakdown structure of a software project, to assess the labor intensity of the work. Means of managing changes in the composition of the typical structure of works and their characteristics is proposed, as well as recommendations on the use of the software and methodological complex in the educational process at the university.

Architectural model, indicators of competency formation, project labor intensity, project management, software engineering, work breakdown structure.



## ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОЦЕДУРЫ АНАЛИЗА КОМПЬЮТЕРНОГО ПОЧЕРКА НА ОСНОВЕ ПРИНЦИПОВ САМООРГАНИЗАЦИИ

В статье рассмотрен подход к организации процедуры анализа компьютерного почерка на основе принципов самоорганизации. Объектом самоорганизации являются математические описания устойчивых структурных составляющих в действиях пользователя – дуплеты, триплеты и т.д. Применение основанных на самоорганизации инструментов позволяет снизить субъективность результатов, сфера применения которых определяется необходимостью решения задач распознавания компьютерного почерка.

Самоорганизация, математическое моделирование, компьютерный почерк, распознавание образов, критерий распознавания.

Клавиатурный почерк является одной из наиболее актуальных тем в узкой среде специалистов по безопасности, ведь, по сути, это один из уникальных биометрических показателей, таких как сетчатка глаза или отпечатки пальцев [1]. Клавиатурный почерк – уникальная характеристика, присущая каждому человеку. Чтобы составить персональный профиль, современным системам необходимо проанализировать способ набора текста, оценить скорость набора текста, паузы между ударами и время удержания клавиш. Кроме того, системы распознавания клавиатурного почерка способны анализировать и стилистику самого текста: каждый человек имеет уникальный набор популярных слов и словосочетаний, который чаще всего встречаются в набранном им тексте.

Спектр применений современных средств вычислительной техники во многом определяется тем, насколько удобно организованы взаимодействия в системе «человек – машина». Именно поэтому столько внимания уделяется обучению машин человеческим навыкам и способностям: распознаванию местности и навигации для разработки беспилотных средств передвижения, синтезу и распознаванию речи для приближения способов общения с машинами к естественному языку, многочисленным способам идентификации личности, необходимым для разграничения прав доступа к различным информационным массивам в банковской сфере, торговле, трудовой деятельности и прочих областях [3].

Одним из первых шагов к расширению возможностей интеллектуализации указанных выше сфер и направлений развития компьютерной техники и информационных технологий может стать анализ поведения человека в процессах взаимодействия с компьютерной техникой. В частности, с такими пока еще традиционными устройствами, как клавиатура и мышь.

Задача распознавания компьютерного почерка еще далека от своего решения. Связано это с тем, что в настоящее время практически отсутствует четкое формализованное представление о составе индикаторов, с высокой долей вероятности определяющих конкретного пользователя, алгоритмах классификации. Попытки построения таких индикаторов на основе знания физики

явления, представленные в работах [1, 2], не привели к появлению надежных легко воспроизводимых результатов, а сами индикаторы и способы их получения не стали общепринятым стандартом. Это может служить сигналом о необходимости перехода на более высокий уровень абстракции, оставляя задачу выбора конкретного вида индикаторов машинным процедурам. Таким образом, машинным критерием станет качество распознавания, т.е. способность разделять информацию о пользователях хотя бы на две категории: конкретный пользователь и все остальные. Критерием более высокого уровня, задаваемым человеком, может стать требование обеспечения стабильности процедур распознавания, которая как раз и обеспечивает воспроизводимость экспериментов.

В случае с распознаванием компьютерного почерка неясностей очень много.

- Каковы технические (аппаратные) возможности сбора информации, с какой точностью измеряется время, можно ли определить скорость нажатия на клавиши (можно ли получить информацию о том, в каком положении находится кнопка – в верхнем или нижнем), что происходит в случае одновременного нажатия множества клавиш и т.д.?

- Каким образом организовать хранение информации? С одной стороны, выбранный способ должен обеспечить достаточную компактность, с другой – удобство обработки. Если мы хотим различать компьютерный почерк разных людей, то в самом простом случае способ представления должен нам позволить закодировать информацию обо всех жителях планеты Земля ( $\approx 7$  млрд человек). Тогда минимальный объем уникального ключа каждого человека должен составлять  $\log_2 7000000000 \approx 32$  бит. Очевидно, что уникальные свойства конкретного человека могут характеризоваться определенным разбросом. Для того чтобы они различались достаточно надежно, необходим запас разрешенных кодовых комбинаций. Это может привести к увеличению длины ключа, причем это увеличение может быть от нескольких десятков до нескольких тысяч раз. Понятно, что количество получаемой от пользователя информации должно быть не меньше этого количества (объема ключа). То есть для более или менее надежной

аутентификации пользователя может потребоваться достаточно долго за ним наблюдать.

- Неясно, какие именно характеристики отражают уникальные особенности конкретного пользователя. Возможно, что эта задача не имеет строгого формального описания и решения и потребует привлечения каких-либо нечетких алгоритмов: нейросети, МГУА и др.;

- Задача обладает определенной внутренней противоречивостью. С одной стороны, желательно идентифицировать человека независимо от того, что он набирает. Например, пользователь забыл пароль, и система определяет, не что именно он набирает, а как он это делает. С другой стороны, к числу особенностей конкретного человека можно отнести его словарный запас, используемые языки, стиль изложения, которые могли бы дать дополнительную информацию.

Эти и, возможно, другие проблемы не позволяют сформировать однозначный алгоритм действий, приводящий к решению задачи. Скорее он может быть получен в результате последовательности исследовательских этапов. На первом этапе необходимо установить принципиальную возможность различения компьютерного почерка разных людей.

Необходимость машинного подбора структуры и параметров критериев распознавания переносит фокус внимания на теорию самоорганизации. Рассмотрим ее применение в задачах классификации пользователей по компьютерному почерку более подробно. Можно выделить три базовых принципа, на которых строится теория самоорганизации.

- Принцип многовариантности. В соответствии с этим принципом на каждом этапе алгоритма необходимо строить не один, а некоторое множество индикаторов.

- Принцип свободы выбора решений, означающий, что в данный момент необходимо принимать такие решения, которые обеспечат свободу выбора решения в последующие моменты. Очевидно, данный принцип связан с первым и в контексте рассматриваемой задачи может означать чередующиеся этапы генерации множества индикаторов, оценку их качества, отбор нескольких лучших, что даст возможность сгенерировать на их основе новое множество индикаторов. Далее процедура повторяется.

- Принцип внешнего дополнения. В соответствии с этим принципом качество работы некоторой системы должно оцениваться на внесистемном уровне. Для рассматриваемой задачи это означает, что оценка воспроизводимости (устойчивости) результатов должна производиться на основе информации, которая не использовалась для построения индикаторов классификации.

Рассмотрим формальное описание задачи распознавания компьютерного почерка с учетом сделанных выше замечаний. Будем считать, что в нашем распоряжении имеется информация о действиях пользователя в системе «человек – клавиатура – компьютер». Известно, что порядок расположения кнопок клавиатуры не случаен и обусловлен особенностью строения человеческих рук. Кроме того, вся информация об особенностях клавиатурного почерка того или иного человека заключается во временных характеристиках, среди которых имеется техническая возможность выделить время нажатия и время отпускания конкрет-

ных кнопок [1]. Будем считать, что эта информация представлена в виде потока событий, аналогично представленному на рисунке 1.

Разбиваем весь поток событий на два примерно одинаковых участка P1 и P2. Одинаковость может определяться по времени, по количеству нажатий кнопок, по числу их разновидностей и другими способами. Будем различать на приведенном рисунке два вида линий: продольные A и поперечные B.

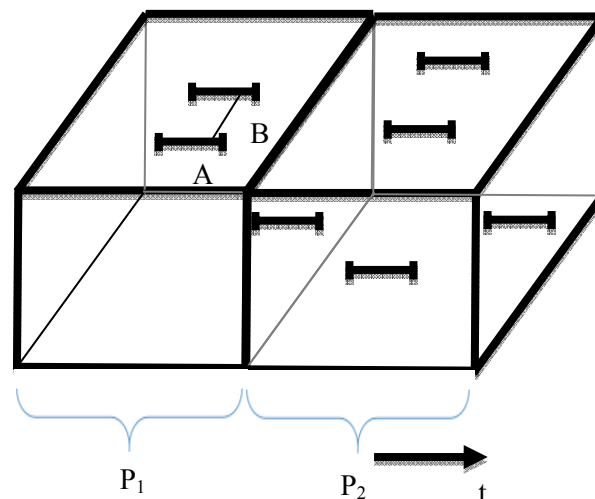


Рис. 1. Поток событий в системе «человек – клавиатура – компьютер»

Первый соответствует нажатой клавише, длина отрезка при этом равна продолжительности нажатия. Второй – переходу от одной нажатой кнопки к другой. Длина отрезка B зависит взаимного расположения кнопок и определяется геометрией клавиатуры в физическом пространстве. Будем считать, что индикаторы представляют собой фигуры, составленные из линий описанных видов. Порядок их усложнения определяется количеством таких линий, как показано на рисунке 2.

На первом этапе индикатору соответствует продолжительность нажатия отдельной клавиши. На втором этапе – нажатой клавише и переходу на другую клавишу. Если в первом случае общее количество вариантов равно 102 (стандартная клавиатура), то во втором количестве индикаторов будет равно

$$C_{102}^2 = \frac{102 \cdot 101}{2} = 5151.$$

Для компьютерных вычислений полученное число выглядит еще вполне приемлемым, однако уже для триплетов  $C_{102}^3 = 171700$  с последующим быстрым ростом числа вариантов. Анализ каждого из вариантов занимает определенное время, которое также растет с усложнением моделей, в результате полный перебор возникающих вариантов становится невозможным за более или менее приемлемое время даже с учетом растущих возможностей вычислительной техники. Это означает, что по мере усложнения моделей индикаторов необходимо осуществлять их отбор и ограничение количества на каком-либо, возможно, постоянном уровне. Традиционно это количество принимается равным первоначальному числу вариантов (102), что удобно при организации вычислительных процедур и программировании.

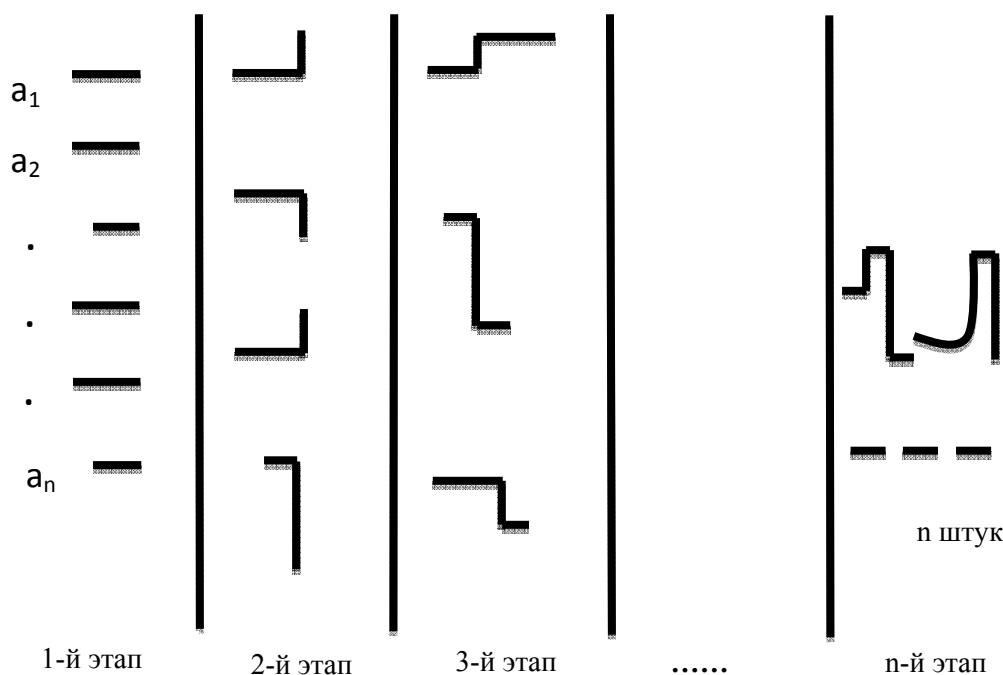


Рис. 2. Порядок усложнения вида индикаторов

В качестве критерия отбора целесообразно принять некоторую меру, которая определяется для конкретного индикатора в каждой из выделенных последовательностей  $P_1$  и  $P_2$ . Указанная мера должна быть тем больше, чем большую часть потока событий описывает индикатор. Без потери общности считаем, что большим значениям меры соответствует лучшее качество индикатора.

Таким образом, после очередного этапа для каждой из выделенных последовательностей  $P_1$ ,  $P_2$  будем иметь некоторое количество индикаторов, проранжированных в соответствии с их характеристикой качества (мерой). Похожесть полученных совокупностей индикаторов совместно с их рангами представляет собой основу для принятия решений о приостановке процедуры расчета или ее продолжения с последующим усложнением вида индикаторов. Для этого также необходимо построение меры специального вида – внешнего критерия. Будем полагать, что эта мера уменьшается с увеличением степени похожесть получаемых групп индикаторов по структуре и рангу. В соответствии с основной гипотезой теории самоорганизации вычисление необходимо остановить на этапе,

которому соответствует наименьшее значение внешнего критерия.

#### Литература

1. Сапиев, А. З. Возможности технических средств фиксации особенностей клавиатурного почерка // Информационные технологии в моделировании и управлении: подходы, методы, решения. Материалы I Всероссийской научной конференции : в 2 частях / Тольяттинский государственный университет. – Тольятти, 2017. – С. 223–228.
2. Брюхомицкий, Ю. А. Клавиатурный мониторинг на основе иммунологического клонирования / Безопасность информационных технологий. – 2016. – № 4 (40). – С. 5–11.
3. Довгаль, В. А. Обзор характеристик производительности наборов данных, используемых для обеспечения информационной безопасности на основе клавиатурного почерка / В. А. Довгаль // Вестник Адыгейского государственного университета. Серия 4: Естественно-математические и технические науки. – 2016. – № 4. – С. 157–163.

*A.Z. Sapiev*

*Maikop State Technological University*

#### ORGANIZATION OF THE PROCEDURE OF COMPUTER HANDSCRIPTION ANALYSIS BASED ON SELF-ORGANIZATION PRINCIPLES

The article describes the approach to the organization of the analysis of computer handwriting based on the self-organization principles. The object of self-organization are mathematical descriptions of stable structural components in user actions - doublets, triplets, etc. The use of self-organizing tools reduces the subjectivity of the results, the scope of which is determined by the need to solve computer handwriting recognition problems.

Self-organization, mathematical modeling, computer handwriting, pattern recognition, recognition criteria.



## СИСТЕМА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ РЕКИ СУХОНЫ

В статье рассматривается применение системы прогнозирования загрязнения реки Сухоны по наличию металлов в воде на основе искусственных нейронных сетей. Приводятся результаты прогнозирования.

Искусственная нейронная сеть, перцептрон, река Сухона.

В последнее время при проведении экологического мониторинга все чаще используются технологии искусственного интеллекта, способные работать в условиях нечеткой исходной информации. Их применение позволяет повысить эффективность принятия управленческих решений. Одной из технологий искусственного интеллекта, активно применяющейся в разных сферах человеческой деятельности, являются искусственные нейронные сети [1, 2].

Нейронные сети могут использоваться для решения многих задач, в том числе связанных с распознаванием и прогнозированием экологических ситуаций. Они позволяют с высокой точностью решать трудно формализуемые задачи, в которых совместно используются противоречивые, неполные, «зашумленные» и некорректные данные.

Целью работы является разработка системы прогнозирования загрязнения реки Сухоны с использованием нейронных сетей. Данная разработка является актуальной, так как по оценкам специалистов состояние основных водных объектов Вологодской области свидетельствует о том, что поверхностные воды относятся к классам загрязненности от «загрязненные» до «экстремально грязные». Такое состояние рек негативным образом влияет на экологическую ситуацию в регионе: ухудшаются условия существования водных организмов, снижается качество жизни людей, проживающих на берегах рек и пользующихся их ресурсами.

Оценка качества водных ресурсов, как правило, проводится по отдельным видам загрязнений. Среди загрязнителей значительная доля приходится на различные нефтепродукты, но в данной работе будет осуществляться прогнозирование содержания различных металлов, так как совместное нахождение разных металлов в воде существенно увеличивает ее токсичность. Например, наличие цинка приводит к резкому повышению токсичности таких металлов, как меди, железа, кобальта, кадмия и марганца. Таким образом, загрязнение реки Сухоны может оцениваться как хроническое. Основными загрязнителями выступают целлюлозно-бумажные предприятия города Сокола и сельскохозяйственные предприятия города Тотьмы. Количество сбросов незначительно снизилось в связи с частичным сокращением производства. Существен-

ную лепту в загрязнение вносят предприятия хозяйственно-бытового назначения, которые расположены на берегах Сухоны и ее притоков. Решение проблемы зависит в том числе от возможности осуществлять своевременный прогноз и принимать адекватные решения по снижению антропогенной нагрузки на экосистему реки [3].

Разрабатываемая система должна иметь четкую структуру, включающую все компоненты, необходимые для ее функционирования. Система представляет собой приложение для ПК с графическим интерфейсом. К числу составляющих итогового продукта относятся: данные, хранимые в системе, алгоритм построения прогноза на основе нейронных сетей, удобный и простой пользовательский интерфейс.

Нейронная сеть вида MLP будет наиболее предпочтительна для применения в ходе решения задачи прогнозирования значения [4].

Для прогнозирования информационных данных с использованием искусственных нейронных сетей были определены архитектура и основные параметры нейронной сети. Была выбрана нейронная сеть с архитектурой перцептрон с обратным распространением ошибки и стохастическим методом обучения, оптимизатором обучения ADAM, с пятьюдесятью нейронами в одном скрытом слое, используемая для прогнозирования. Входной слой нейронной сети состоит из 3 нейронов (по количеству входов). Скрытый слой состоит из 50 нейронов. Выходы нейронов входного слоя связаны по полносвязной схеме с входами нейронов скрытого слоя. Выходной слой состоит из одного нейрона [5].

В качестве функции активации входного и скрытого слоев используются логистическая сигмоидальная функция, так как данная функция дифференцируема на всей оси абсцисс и обладает свойством усилить слабые сигналы лучше, чем сильные, тем самым предотвращая насыщение от сильных сигналов. В качестве функции выходного слоя активации используется линейная функция в связи с тем, что линейный участок данной функции активации позволяет производить действия с непрерывными сигналами в диапазоне  $(-\infty, \infty)$ . Для оценки качества прогнозирования данных с использованием построенной искус-

ственной нейронной сети используется значение коэффициента детерминации

$$R^2 = 0.812.$$

Таким образом, прогнозирование с использованием искусственных нейронных сетей является наиболее достоверным, но и более ресурсоемким, по сравнению с другими методами прогнозирования данных.

Тестирование на точность предсказания по уже имеющимся данным (за 20 лет наблюдений в различных точках сбора данных на реке Сухоне) привело к следующим результатам (табл. 1, 2).

Таблица 1

**Точность для катионов меди**

Точка прогнозирования	Средняя ошибка
3 км выше Великого Устюга	0,43
1 км выше Тотьмы	0,39
1 км ниже Тотьмы	0,35
1 км выше сброса ООО «Сокольский РМЗ»	0,46
2 км ниже Сокола	0,41

Среднее значение ошибки для 5 точек 0,4.

Таблица 2

**Точность для УКИЗВ**

Точка прогнозирования	средняя ошибка
3 км выше Великого Устюга	0,35
1 км выше Тотьмы	0,34
1 км ниже Тотьмы	0,29
1 км выше сброса ООО «Сокольский РМЗ»	0,39
2 км ниже Сокола	0,41
выше впадения р. Пельшмы	0,37
ниже впадения р. Пельшмы	0,34

Среднее значение ошибки для 7 точек 0,36.

Проводилось тестирование времени, затраченного на прогнозирование результатов для различных опытов. Были получены следующие результаты (табл. 3).

Таблица 3

**Время, затраченное на прогнозирование**

№ теста	Время (с)
1	43,56
2	43,25
3	42,26
4	44,68
5	43,51
среднее	43,45

Использование искусственных нейронных сетей в прогнозировании загрязнения реки Сухоны вполне обосновано более высоким значением точности по сравнению с другими распространенными методами прогнозирования загрязнения. Но стоит учесть, что с увеличением точности прогнозирования данных увеличивается сложность и ресурсоемкость при создании, организации и эксплуатации различных методов прогнозирования.

**Литература**

1. Суконщикова, А. А. Мультиагентные интеллектуальные системы и сети / А. А. Суконщикова, А. Н. Швецов. – Вологда : ВоГУ. – 2019. – 209 с.
2. Ногтев, Д. Н. Разработка системы прогнозирования загрязнения реки Сухоны / Д. Н. Ногтев // XIII Ежегодная научная сессия аспирантов и молодых ученых. Материалы межрегиональной научной конференции : в 2 томах. – Вологда : ВоГУ. – 2019. – С. 182–185.
3. Тотьма. Краеведческий альманах. – Вып. 2 (13). – URL: <https://www.booksite.ru/fulltext/two/tot/ma/13.htm> (дата обращения: 21.03.2020). – Текст : электронный.
4. Когда использовать нейронные сети MLP, CNN и RNN. – URL: <https://www.machinelearningmastery.ru/when-to-use-mlp-cnn-and-rnn-neural-networks/> (дата обращения: 15.02.2020). – Текст : электронный.
5. Портал искусственного интеллекта: Основные недостатки использования искусственных нейронных сетей и пути их решения. – URL: <http://neuronus.com/theory/> (дата обращения: 06.05.2020). – Текст : электронный.

*A.A. Sukonschikov, D.N. Nogtev*  
Vologda State University

**CONTAMINATION PREDICTION SYSTEM FOR THE SUKHONA RIVER**

The article discusses the application of the system for predicting pollution of the Sukhona River by the presence of metals in water based on artificial neural networks. The forecasting results are presented.

Artificial neural network, perceptron, Sukhona river.



*В.Д. Чертовской*  
 Санкт-Петербургский государственный электротехнический  
 университет «ЛЭТИ» имени В.И. Ульянова (Ленина)

## ПОСТРОЕНИЕ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ СИСТЕМ С ПОМОЩЬЮ ВЕБ-ПОРТАЛОВ И ВЕБ-САЙТОВ

В статье освещены вопросы построения и использования поисковых систем. Представлена систематизация данных о таких инструментах цифровизации, как веб-порталы и веб-сайты. Приведены их определения и свойства, указана их связь. Рассмотрены классификация, структура, особенности, технология построения. Показаны прикладные примеры реализации поисковых систем с порталами и систем управления.

Веб-портал, веб-сайт, понятия, классификация, структура, методы, программирование.

Одним из эффективных направлений развития экономики является ее цифровизация, предполагающая построение распределенных систем. В реализации таких систем выделяются две технологии связей локальных систем: «клиент – сервер» и одноранговая. Технология «клиент – сервер» чаще используется в системах управления. Вопросам применения этой технологии с упорядочением информации о ней посвящена работа [2]. Однако у пользователей и, особенно, у разработчиков систем управления возникает потребность в обращении к поисковым системам, использующим одноранговую технологию.

Предметом данной публикации, служащей фактически развитием работы [2], является построение и использование поисковых систем с одноранговой технологией. Инструментами этой технологии являются веб-порталы и веб-сайты. В связи с этим акцент в данной работе сделан на исследовании свойств этих инструментов и возможностей их использования в распределенных системах. При этом одновременно проводится систематизация разбросанной в разных источниках многочисленной информации о названных инструментах.

Первоначально следует разобраться в терминологии поисковых систем. В последнее время в таких системах появилось много новых терминов: веб-портал, веб-сайт, веб-сервер, веб-клиент, веб-сервис. Как правило, при их использовании определения часто не даются, а если и приводятся, то в разных, порой плохо доступных источниках. Это затрудняет работу опытных специалистов, не говоря о начинающих пользователях. Требуется, прежде всего, систематизировать терминологию и свести необходимые термины в одном источнике. Эта цель и преследуется в настоящей публикации.

Рассмотрим специфику веб-порталов и веб-сайтов, а затем приведем примеры прикладной реализации. Изложение информации о порталах и сайтах приведем в одной последовательности:

1. Определение и назначение.
2. Классификация.
3. Структура.
4. Особенности.
5. Технология создания и стандарты.

**Веб-портал** [1] – набор сайтов в компьютерной сети, который предоставляет пользователю различные интерактивные сервисы и интернет-сервисы.

Порталы являются точками доступа к информации в интернете и помогают пользователям в поиске информации в поисковых системах. Информация

предоставляется из различных источников в единообразном виде, в одном месте, с привлечением наибольшего числа пользователей.

Порталы разделяются по нескольким классификационным признакам.

По специализации информации выделяют горизонтальные и вертикальные порталы.

**Горизонтальный портал** (универсальный, общего назначения) охватывает множество тематик, представляет собой набор сервисов и ориентирован на максимально широкую аудиторию с максимальным учетом интересов. Наиболее известные горизонтальные порталы: Yahoo!, Mail.ru (русскоязычный), Yandex.

**Вертикальный портал** (нишевый) характеризуется узкой тематической направленностью. Он предоставляет различные сервисы для пользователей сети по определенным интересам и ориентирован на определенную тематику или область деятельности.

По направленности пользователя выделены корпоративный и публичный порталы.

**Корпоративный портал** – совокупность информационных систем и баз данных предприятия, организации, представленных в интернете.

Корпоративный портал предоставляет сотрудникам компании строго определенные права доступа к автоматизированной системе управления (системе подготовки принятия решений, экспертной системе, системе совместной работы).

**Публичный портал** является диаметральной противоположностью корпоративного портала. Он обеспечивает доступ для информации неограниченно широкого круга лиц.

В структуре портала выделяют три составляющих.

**Базовая инфраструктура** обеспечивает работу системы безопасности, управление порталом, транзакциями. В нее входят веб-сервер, сервер баз данных и приложения.

**Интеграция приложений** отвечает за взаимодействие портала с различными системами компании, СУБД, CRM, ERP.

**Интерфейс** предназначен для управления наполнением информацией. Включает инструменты для работы с беспроводными и мобильными устройствами, службы обмена данными с проектами бизнес-партнеров, портлеты (программные модули).

Особенностями веб-порталов являются:

- 1) прямой доступ ко всей размещенной информации,
- 2) единый доступ ко всем приложениям,

- 3) наличие средств поиска данных,
- 4) публикация документов, поддержка документооборота, наличие каталогов документации,
- 5) поддержка групповой работы пользователей с персонализацией доступа,
- 6) гибкие и мощные инструменты для разработки приложений,
- 7) соответствие требованиям, предъявляемым к информационным системам предприятий,
- 8) поддержка беспроводного и мобильного доступа,
- 9) возможность интеграции с информационными системами партнеров и другими приложениями.

Рассмотрим наиболее популярные технологии создания порталов.

**InfoExchange Portal.** Здесь можно создавать порталы B2E и B2C для обмена информацией с поставщиками, для управления неструктурированным и структурированным информационным наполнением, для поддержки внутренних транзакций, для удаленного администрирования и персонализации. Каждый пользователь может изменять вид сайта для удобного доступа к приложениям. Работа с документами и данными основывается на ролях.

**WebSphere Portal Server.** Приложение позволяет строить корпоративные и горизонтальные порталы. Портал предоставляет данные, охватывающие информацию новостных агентств, неструктурированную информацию, пакеты приложений, созданные независимыми разработчиками, офисные пакеты, системы управления информационным наполнением ресурсов, файловые системы.

**SharePoint Server.** Приложение позволяет управлять содержимым порталов, обеспечивать совместную работу пользователей, предоставлять доступ к информации. Система предлагает различные средства для быстрого создания узлов публикации.

Можно отметить также следующие средства: Oracle 9iAS Portal, iPlanet Portal Server, Enterprise Portal, Sybase Enterprise Portal, CleverPath Portal (Computer Associates, CA), Enterprise Information Portal (Hummingbird), PeopleSoft Enterprise Portal (PeopleSoft), Plumtree Portal Server (Plumtree Software), SAP Portals Enterprise Portal (SAP Portals).

Web Services for Remote Portlets (WSRP) – сетевой протокольный стандарт для связи с удаленными портлетами.

JSR 168 (Java Portlet Definition Standard) определяет контракт между портлетами и контейнером портлетов и предоставляет удобную программную модель разработчикам портлетов.

**Веб-сайт** – информация компьютерной сети, объединенная под одним адресом (доменным именем или IP-адресом). Для доступа к данным сайта можно использовать меню, «картинки», метки. Это совокупность документов частного лица или организации. По умолчанию подразумевается, что сайт располагается в сети Интернет. Для прямого доступа клиентов к веб-сайтам на серверах был специально разработан протокол HTTP.

Выражение «своя страничка в Интернет» подразумевает целый веб-сайт или личную страницу в составе чужого сайта. Кроме веб-сайтов, в сети Интернет доступны WAP-сайты для мобильных телефонов.

Изначально веб-сайты представляли собой совокупность статических документов. В настоящее время для них характерна динамичность и интерактивность.

Для таких случаев используют термин «приложение» – готовый программный комплекс для решения задач веб-сайта. Приложение входит в состав сайта, однако без данных работать не может.

Для повышения безопасности протоколов создано защищенное HTTPS-соединение. Оно применяется в личных кабинетах и интернет-магазинах.

Чаще всего в Интернете одному веб-сайту соответствует одно доменное имя. По доменным именам сайты идентифицируются в глобальной сети. Возможны и варианты: один сайт на нескольких доменах или несколько сайтов под одним доменом. Обычно несколько доменов используют крупные сайты (веб-порталы), чтобы логически отделить разные виды предоставляемых услуг (mail.google.com, news.google.com, maps.google.com). Нередки случаи выделения отдельных доменов для разных стран или языков. Например, google.ru и google.fr логически являются сайтом Google на разных языках, но технически это разные сайты. Объединение нескольких сайтов под одним доменом характерно для бесплатных хостингов.

Обычный сайт все равно посвящен одной тематике. **Форумы** являются местом для общения и обсуждения определенной темы. **Сайт-визитка** представляет основные данные о предприятии. **Блог** – это авторский дневник.

Задача перечисленных ресурсов – предоставить материалы в полном объеме по одному определенному предмету.

Задача интернет-портала в том, чтобы помочь посетителю найти ответ на свой вопрос: с помощью ссылок направить его на внешние сервисы и нужный ресурс с запрашиваемой информацией. Интернет-портал является площадкой со сложной структурой и большими функциями, чем у сайта.

Имеется несколько классификационных признаков веб-сайтов.

По доступности сервисов: открытые, полуоткрытые, закрытые.

По природе содержимого: статические, динамические (содержимое генерируется специальными скриптами).

По физическому расположению: внешние сайты сети Интернет, локальные сайты.

По схеме представления информации, ее объему и решаемым задачам: сайт-визитка (визитные карточки), корпоративный сайт, каталог продукции, интернет-магазин, промо-сайт (торговая марка), сайт-квест (интернет-ресурс с разгадыванием последовательности взаимосвязанных логических загадок).

По услугам: веб-сервис, доска объявлений, каталог сайтов, поисковые сервисы, почтовые сервисы, веб-форумы, блоггерский сервис, файлообменный пиринговый сервис, дата-хостинговый сервис, дата-эдиторинговый сервис, фото-хостинг, хранение видео.

Страницы сайтов – файлы с текстом, размеченным на языке HTML. Эти файлы обрабатываются браузером и выводятся на его средство отображения (монитор, экран, принтер или синтезатор речи). Язык HTML позволяет форматировать текст, создавать гипертекстовые ссылки и вставлять в отображаемую страницу изображения, звукозаписи, мультимедийные элементы. Отображение страниц можно изменить добавлением в нее таблицы стилей на языке CSS или сценариев на языке JavaScript.

Страницы могут быть простым статичным набором файлов или создаваться специальной компьютерной программой на сервере, называемой движком сайта. Движок может быть сделан на заказ для некоторого сайта, либо являться готовым продуктом, рассчитанным на выбранный класс сайтов. Ряд движков может обеспечить владельцу сайта гибкие настройки структурирования и выводов информации на веб-сайт. Эти движки называют системами управления содержанием.

Сайт предполагает наличие двух субъектов: источник данных и пользователь. Следовательно, между ними должна быть связь. Методы связи определяются применяемой технологией [2, 3]: клиент-сервер, одноранговые. Перечень методов представлен в таблице 1.

Таблица 1

**Методы связей в веб-сайтах**

Технология клиент-сервер	Одноранговая технология
Web	Сервис-ориентированная архитектура
Модель «клиент – сервер»	Веб-сервисы
Объектные системы	Технологии одноранговых сетей
Агентные технологии	Технологии Grid
Компонентные системы	Облачные вычисления

Данные по назначению и использованию могут быть двух видов: информационные и управляющие. Источником информационных данных может быть любой запрашиваемый сайт. Полученная из него информация может быть использована, как правило, в других системах сайтов или в ручном режиме. Управляющая информация получается из целенаправленных сайтов и используется в системе пользователя для принятия решений.

Все данные делят на структурированные (таблицы) и неструктурированные (текст, графика). Управляющие системы используют преимущественно структурированную информацию, что предполагает применение баз данных (БД). Поскольку управляющие системы все чаще имеют многоуровневую структуру, возникает проблема взаимодействия БД. БД может быть единой для системы или представлять собой набор связанных локальных БД [4–6].

Чтобы упростить выбор конкретного метода, в таблицах 2 и 3 приведены сравнительные характеристики перечисленных методов.

Таблица 2

**Сравнительные характеристики технологий распределенной структуры «клиент – сервер»**

Способ	Достоинства	Недостатки
Web	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Простота структуры</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Сложность обеспечения безопасности данных, применение в основном для поисковых систем</li> </ul>
Модель «клиент – сервер»	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Простота структуры</li> <li>• Возможность применения в системах управления</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Трудность определения безопасности</li> <li>• Применение для систем относительно небольшой размерности, при росте количества клиентов повышаются требования к мощности сервера и пропускной способности канала</li> <li>• Устойчивая работа всех клиентов зависит от загрузки и функционирования одного сервера</li> </ul>
Объектные системы	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Простота разработки распределенных приложений в сравнении с клиент-серверным подходом</li> <li>• Возможность разработки приложений для гетерогенных вычислительных сред с помощью виртуальных машин и независимого описания интерфейсов взаимодействующих компонентов</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Реализация удаленных вызовов гораздо сложнее реализации вызовов локальных процедур</li> <li>• Проблема передачи данных с адресного пространства с одной машины на другую</li> <li>• Неоднородность языков программирования и операционных сред: структуры данных и структуры вызова процедур, строгая ограниченность данной технологии платформой Java, ограниченность масштабируемости</li> </ul>
Агентные технологии	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Возможность доступа к разным точкам источника данных</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ряд серьезных проблем с безопасностью агентных платформ</li> <li>• Трудности определяют принцип работы технологии: любой администратор вычислительной сети не позволит агентам путешествовать по компьютерам пользователей</li> </ul>
Компонентные системы	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Пригодность для разработки крупных систем</li> <li>• Простая быстрая процедура инсталляции</li> <li>• Увеличение доли повторного применения кода</li> <li>• Снижение стоимости программного обеспечения</li> <li>• Унификация обработки объектов различной природы</li> <li>• Процесс создания программного обеспечения меньше зависит от человека</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Высокие требования при разработке компонент, ограниченность технологии платформой Java</li> </ul>

Сравнительные характеристики технологий распределенной структуры одноранговых систем

Способ	Достоинства	Недостатки
Сервис-ориентированная архитектура	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Пригодность для разработки средних по размерам систем</li> <li>• Увеличение доли повторного применения кода</li> <li>• Снижение стоимости программного обеспечения</li> <li>• Унификация обработки сервисов различной природы</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Недостаточная апробация программного обеспечения</li> <li>• Нет возможности работы с состояниями</li> </ul>
Веб-сервисы	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Пригодность для разработки средних по размерам систем</li> <li>• Увеличение доли повторного применения кода</li> <li>• Снижение стоимости программного обеспечения</li> <li>• Унификация обработки сервисов различной природы</li> <li>• Обеспечение безопасности данных</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Достаточно сложная архитектура</li> </ul>
Технологии одноранговых сетей	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Упрощается поддержка масштабируемости при значительном росте количества узлов в вычислительной сети</li> <li>• Повышается отказоустойчивость сети</li> <li>• Возможность объединения ресурсов отдельных участников сети при возможности предоставления услуг другим участникам</li> <li>• Отсутствие зависимости от централизованных сервисов и ресурсов</li> <li>• Пригодность для систем с большим объемом данных и обменом информацией между пользователями</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Рост требований к производительности каждого компьютера</li> <li>• Низкая степень защищенности машин из-за открытого доступа</li> <li>• Трудность учета гетерогенности аппаратного и программного обеспечения потенциальных участников</li> <li>• Сложность поиска доступных ресурсов без использования централизованной точки управления</li> <li>• Затруднения в вопросах безопасности предоставления ресурсов в основном индивидуальным пользователям</li> </ul>
Технологии Grid	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Объединение крупных комплексов обработки и хранения данных, благодаря свойствам гетерогенности, масштабируемости, приспособляемости</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Сложная инфраструктура, которую целесообразно применять для сверхбольших систем</li> </ul>
Облачные вычисления	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Сокращение в 3–5 раз стоимости бизнес-приложений и более чем в пять раз стоимости приложений для конечных пользователей</li> <li>• Оплата по мере использования ресурса</li> <li>• Масштабируемость и гибкость</li> <li>• Высокий уровень загрузки оборудования и снижение затрат на его эксплуатацию</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Сложности организации репликации данных между сервисами</li> <li>• Сложность администрирования в процедуре функционирования</li> <li>• Сложность архитектуры</li> <li>• Высокие риски в защите информации</li> </ul>

В качестве программных средств могут быть использованы СУБД MySQL и SQLite, языки программирования Java и HTML. Возможные сочетания программных инструментов реализации приведены в таблице 4.

Таблица 4

#### Возможные варианты использования программных средств

Технология «клиент – сервер»		Одноранговая технология
СУБД	Язык программирования	
MySQL	PHP	Java
MySQL	Java	HTML
SQLite	Java	DHTML

Работа с технологией «клиент – сервер», чаще используемая в системах управления, описана в публикациях [7–8]. Для информационных систем с неструктурированной информацией предпочтительно приме-

нение языка HTML [9–12], в том числе с применением графики [13].

Вопросам технологии создания сайтов посвящены работы [14, 15].

Изготовление сайтов может вестись своими силами либо обращением к специализированным разработчикам (фрилансерам, студиям, бюро, конторам). Отношения между заказчиком и исполнителем регулируются с помощью договоров, технических заданий.

Технология создания корпоративных и публичных порталов несколько отличается.

Первоначально, независимо от типа портала, определяется цель реализации и реализуемый объект (система или процедура), выявляется структура объекта. Далее начинаются различия.

При применении корпоративного портала выявляются особенности системы, требования к методам математического описания и выбор метода. Им может быть однородный метод [2]. Осуществляется матема-

тическое описание и проводится переход к программированию. Выбирается метод связи и программные инструменты. Ими являются СУБД (MySQL, SQLite), промежуточный слой (например, Apache) и языки программирования (PHP, в последнее время все чаще Java, обладающий большими возможностями).

При применении публичного портала процедура создания гораздо сложнее.

Веб-дизайнеры разрабатывают макеты шаблонов страниц, определяют интерфейс доступа потребителя к информации и услугам сайта. Страницы могут включать графические элементы, подготовкой которых занимаются технические дизайнеры, шрифтовики. Готовые шаблоны предъявляют заказчику. Чтобы макеты выглядели более наглядно, в них помещается дополнительное содержимое, называемое на сленге дизайнеров рыбой. Если заказчик удовлетворен внешним видом шаблонов, то проводится верстка страниц сайта.

Верстка гораздо сложнее: макеты шаблонов представляют либо в виде изображений (например, в формате JPEG или PNG), либо разбитых по слоям (например, в PSD или AI). Надо получить из графических макетов гипертекстовые веб-страницы с подготовленными для интернета изображениями.

Одним из сложных моментов является обеспечение совместимости с множеством браузеров (программам для просмотра веб-страниц), которые могут одни и те же элементы разметки или правила CSS интерпретировать по-своему.

Когда получится, что большинство браузеров одинаково отображают готовые шаблоны, переходят к веб-программированию.

Программист создает программную основу сайта с нуля, используя фреймворк или CMS. Выбор языка программирования (HTML, CSS, Java) непринципиален. Полученный сайт заполняют данными.

В сайте может содержаться конфиденциальная информация, доступ к которой посторонним лицам

чреват финансовыми и моральными потерями. Мотивами вмешательства злоумышленников в сайт могут быть ревность, искажение информации.

Наиболее распространенными последствиями атаки на сайт могут быть:

- несанкционированное изменение злоумышленниками-хакерами содержания сайта (дефейсинг);
- подделка сайта (дизайн и содержимое сайта могут быть скопированы, а пароли – украдены).

Необходимо обеспечить таким сайтам должный уровень защиты, состав которой зависит от важности информации.

Обсудим вопросы реализации публичного и корпоративного порталов. Публичным порталам и соответствующим сайтам посвящено значительное количество литературы [8, 15, 16–20], в то время как по корпоративным порталам литературы мало [2]. В связи с этим первоначально обсудим особенности, связанные с корпоративным порталом.

Рассмотрим вопросы реализации на примере адаптивной автоматизированной системы управления производством [2].

**Создание системы.** Организационная структура системы представлена на рисунке 1.

В качестве метода математического описания системы принят однородный метод. Общая схема компьютерной реализации такой системы показана на рисунке 2.

В данной работе использована схема, отраженная на рисунке 3. В качестве СУБД принята SQLite. Языком программирования принят Java. Технологией реализации является клиент-сервер, а методом связи элементов – компонентный.

Схема связей БД приведена на рисунке 4.

Программная схема системы представлена на рисунке 5. Назначение программ показано в таблице 5.

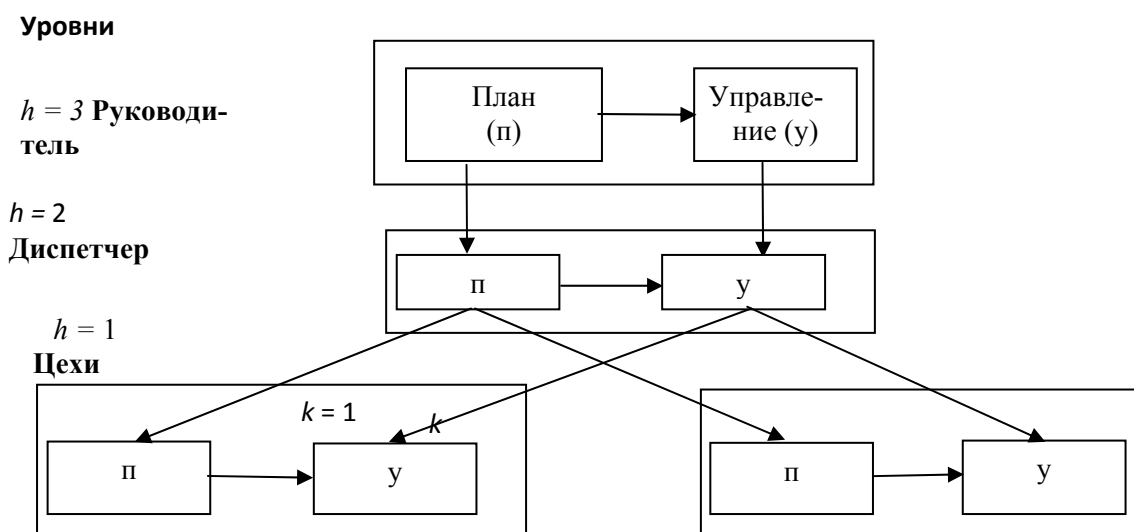


Рис. 1. Структура системы управления производством

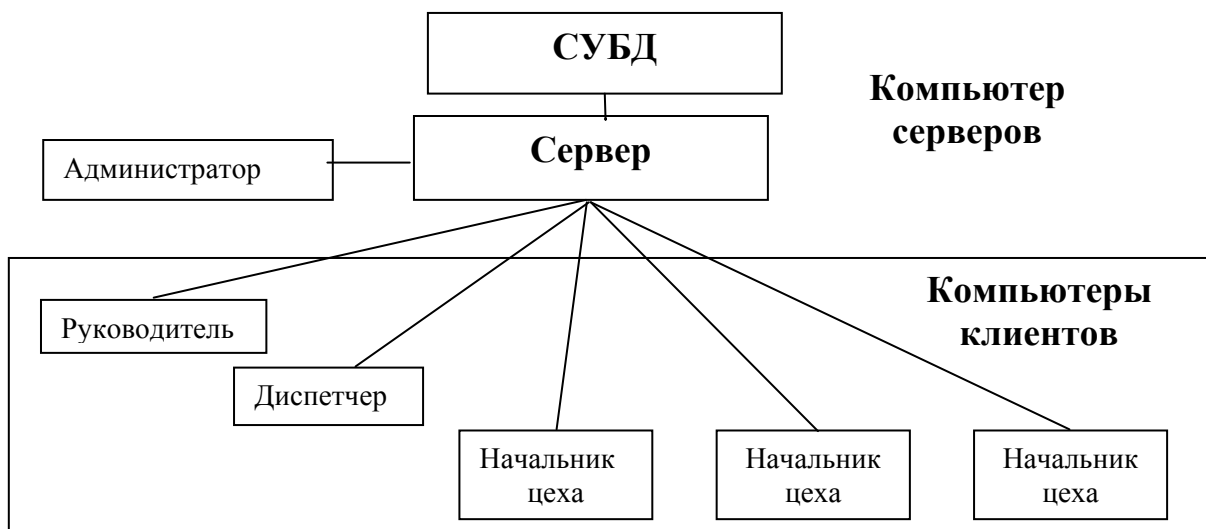


Рис. 2. Схема компьютерной реализации

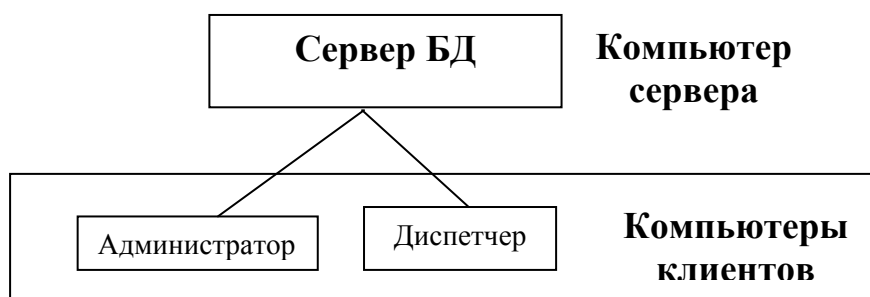


Рис. 3. Схема компьютерной реализации

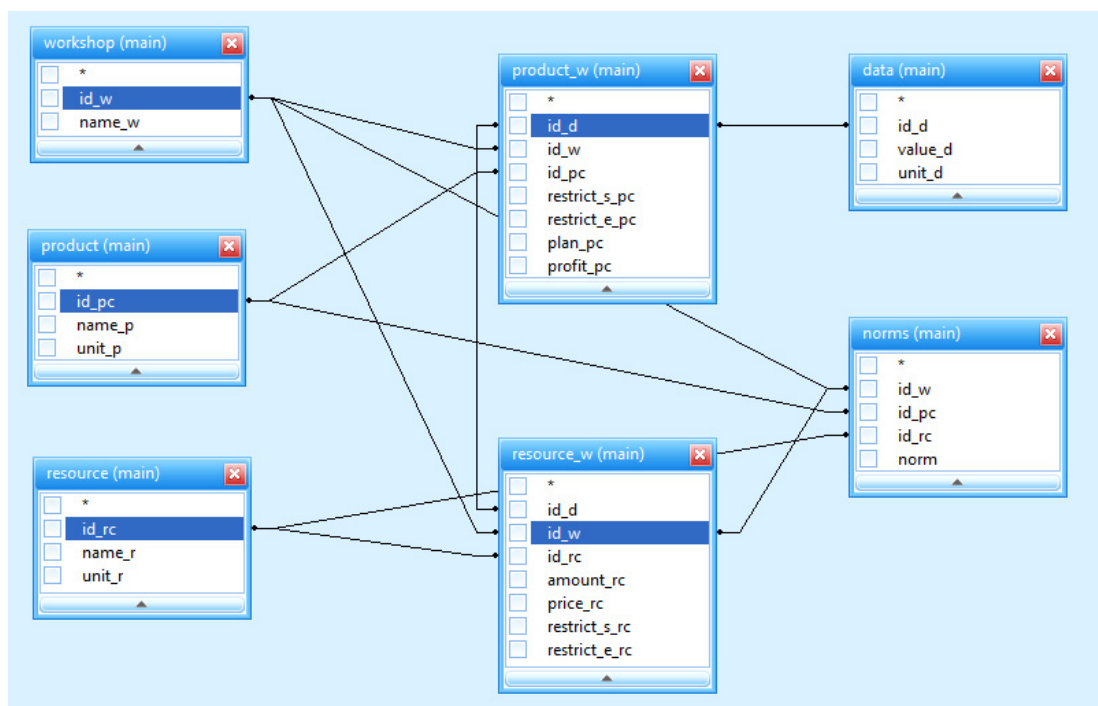


Рис. 4. Схема связей базы программ данных

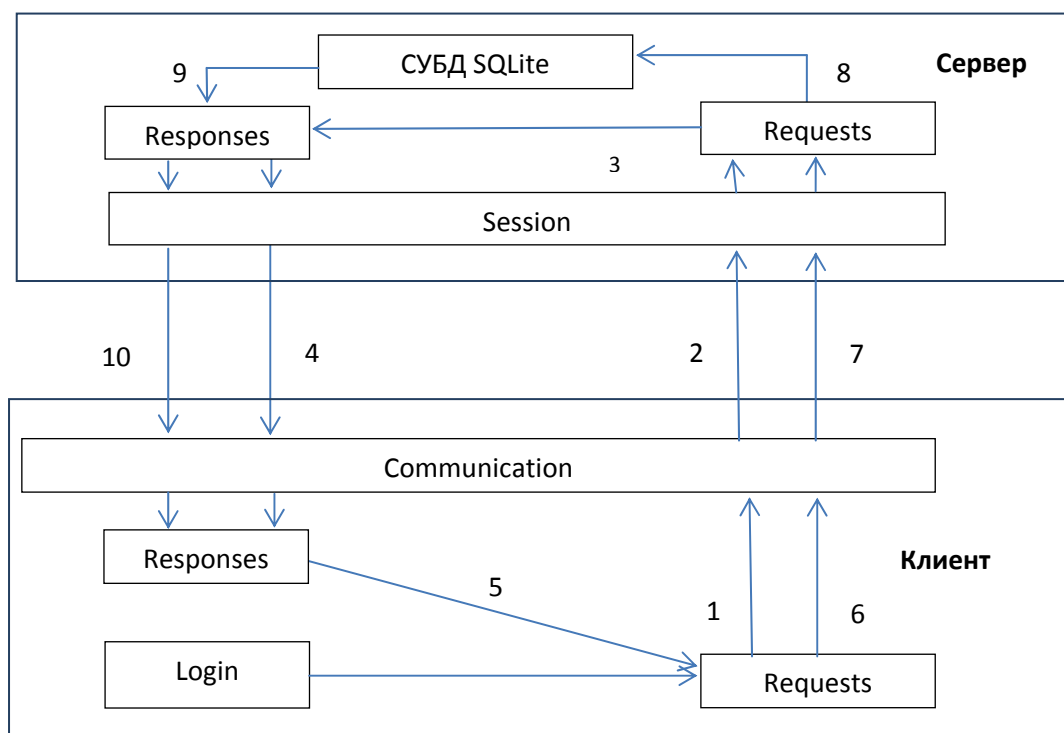


Рис. 5. Программная схема системы:  
1–4 – запрос и ответ на установление связи; 5–10 – запрос и ответ на выдачу данных

Таблица 5

#### Клиентская часть

Название	Функция
Tcp.Core	Основной пакет, содержащий клиентскую и серверную часть
Request	Объект описывает данные для запроса, наследует интерфейс IMessage.
Response	Объект описывает необходимые данные для ответа, наследует интерфейс IMessage
DataSetObject	Объект содержит в себе объекты данных (матрицы, имена, наследует Serializable)
LoginObject	Содержит объекты необходимые для входа в систему (логин и пароль, роль, наследует Serializable)
WorkshopObject	Объект содержит данные изменяемые в ходе работы, наследует Serializable
DataSetRequest	Реализует поток данных запросов с применением пространства имен DataSetObject
GetAllDataSetRequest	Заносит в запрос данные в массиве
GetAllWorkshopRequest	Заносит в запрос рабочие (измененные) данные в массиве
LoginRequest	Запрос на вход в систему
DataSetResponse	Реализует поток данных ответов с применением пространства имен DataSetObject
GetAllDataSetResponse	Заносит в ответ данные в массиве
GetAllWorkshopResponse	Заносит в ответ все рабочие (измененные) данные в массив
LoginResponse	Ответ на вход в систему
MessageWriter	Инструмент для написания сообщений
MessageReader	Инструмент для чтения созданных сообщений
MessageFactory	Преобразует, структурирует данные на основе запросов и ответов, формируя их в один пакет-сообщение для удобной работы системы (преобразует данные в байт-вид)

Пакет Client реализует всю клиентскую базу, содержит метод входа в систему, получение и отправки данных под видом сообщений. Пакет Gui содержит FXML-файлы для описания интерфейса программы. Пакет Controllers осуществляет правильный процесс объединения элементов интерфейса и программных методов для обеспечения полного функционала программы.

Серверная часть тоже содержит пакет Tcp.core. Tcp.server – пакет-основа серверной части. Client Session реализует сессионный механизм пользователя

и организует работу сервера, т.е. обмен сообщениями, хранение информации. Context – реализует механизм соединения. Server – сервер, содержит серверную информацию, отображает подключившихся. Server Launcher – механизм запуска сервера. SessionManager – создает сессию.

Сервер приложений и клиент расположены на разных компьютерах. Все программные модули скомпонованы в две папки – server и client. Установить пакет server на сервере, а пакет client на клиенте.

Папки server и client устанавливаются на соответствующих компьютерах в доступных для пользователя местах. Например, таким местом может быть «Рабочий стол» или «Documents». В данном случае будет находиться на «Рабочем столе». Папка client будет выступать клиентской машиной, папка server будет выступать серверной машиной. Обе машины должны находиться в одной сети и иметь разные IP-адреса. При желании можно использовать виртуальную локальную сеть, если получится настроить. Обмен между сервером и клиентом будет идти по протоколу TSP/IP.

Работа программной системы осуществляется через меню компьютеров таким образом.

Предварительная стадия.

1. Администратор со своего компьютера генерирует числовые данные для диспетчера с учетом инерционности процесса планирования.

2. Данные (кроме планов) передаются в БД со схемой связей, в которую добавляются данные динамики.

Рабочая стадия.

1. По запросу диспетчера с его компьютера данные передаются для решения задач динамического линейного программирования.

2. Результаты поступают в БД и отражаются на экране компьютера клиента.

Если производство территориально распределено, то можно использовать Интернет. Для этого базу данных и промежуточное программное обеспечение следует установить на сайте в интернете и задать его IP-адрес.

Размещение сайта в интернете подробно описано в работах [11, 21]. Если сайт подготовлен, то его необходимо:

- зарегистрировать и получить доменное имя;
- загрузить сайт на интернетовский веб-сервер, который может управляться хостинговой компанией.

Перейдем к описанию публичного портала. В его представлении принял участие студент В. М. Харламов.

Построение и использование такого портала в простейшем случае удобно провести на примере фрагмента HTML-файла doc3.html, заимствованного из работы [10] и показанного в листинге 1.

Листинг 1 (фрагмент файла doc3.html)

```
<OL type=1>
<LI><A href=doc4.html#1> Жил да был ...</A>
</OL>
```

Нетрудно видеть, что файл doc3.html служит клиентом, который вызывает по ссылке данные с сервера doc4.html. В файлах могут использоваться и IP-адреса.

Рассмотрим построение поисковой системы, целью создания которой является повышение эффективности работы и увеличение производительности труда работников организации. Система, которую назовем «Соланж», должна обладать высокой информативностью и иметь минимум затрат на проектирование.

Прикладной целью выпускной работы является реализация в рамках задач системы «Соланж» следующих основных разделов для пользователя:

Общая структура системы представлена на рисунке 6.

Система состоит из сервера (хостинга) и веб-портала (клиента). Портал в данном случае представлен одним сайтом с несколькими страницами.

К веб-порталу как визуальному продукту предъявляются следующие требования:

1) портал должен иметь интуитивно понятный веб-интерфейс, чтобы пользователь мог прочесть представленную информацию;



Рис. 6. Структура поисковой системы

2) на сайте должна быть представлена актуальная динамически меняющаяся и достоверная информация;

3) на сайте должна использоваться нейтральная цветовая гамма;

4) все гиперссылки должны иметь описание и быть рабочими;

5) на сайте должна быть организована удобная навигационная система;

6) контент не должен противоречить требованиям действующего законодательства и организационным документам организации, нести сведения негативного характера и информацию, порочащую честь и достоинство сотрудников.

К программным инструментам веб-портала (сайта) предъявляются следующие требования:

1) учет наличия в организации других программно-аппаратных средств, внесение изменений в которые должно отсутствовать;

2) интеграция нового программного обеспечения с уже существующим;

3) совместимость с распространенными браузерами;

4) защищенность от вредоносного кода;

5) обеспечение одновременной работы нескольких пользователей.

6) сайт должен быть кросс-браузерным.

Этим требованиям удовлетворяют охарактеризованные ранее языки HTML, CSS (Cascading Style Sheets – каскадные таблицы стилей), JavaScript [22] (комментарии), PHP [23–26] для навигационных операций. Программы на языке JavaScript называют скриптами или сценариями. Дополнениями к ним могут быть программы (плагины), не имеющие самостоятельного значения и улучшающие основную программу. Для навигации язык Java [26–29] или апплеты в данной работе не используются. Для хранения данных используется СУБД MySQL.

В последнее время создание и поддержка данных на сайте серьезно автоматизирована [30, 31] с помощью специальной управляющей программы CMS (Content Management Software), устанавливаемой на хостинге. CMS имеет две цели:

- показ страниц сайта для пользователей, генерируя их содержимое с использованием заранее заданных шаблонов, дизайна и контента, хранящихся в базе данных;
- помощь владельцу сайта без специальных навыков и умений управлять сайтом, публикуя новые страницы или новости, видео, размещая ссылки как на внешние, так и на внутренние ресурсы, для чего администратор использует визуальный редактор. В качестве CMS используется вариант WordPress.

В этом случае процедура создания сайта может проводиться в таком порядке.

1. Выбрать и оплатить хостинг, получая некое дисковое пространство для размещения своих сайтов.
2. Хостинг предоставляет возможность входа в свой личный кабинет. В нем и происходит создание сайтов.
3. Для создания сайта нужно указать домен (если такой есть) или использовать домен, предоставляе-

мый хостингом. Затем указывается адрес сайта и хостинг сам разместит сайт в интернете.

4. Начинается создание уже самого сайта. В указанном личном кабинете надо выбрать нужную CSM. Обычно предоставлен выбор из самых распространенных CSM. После выбора хостинг сам установит выбранный CSM.

5. Использовать внешнюю базу данных, тогда в специальной панели нужно будет указать адрес и данные подключения. Возможно создание БД посредством самого хостинга. В этом случае БД будет расположена на хостинге, хостинг сам создает все нужное для работы БД.

6. На почту приходит письмо со ссылкой на личный кабинет администратора CSM, где можно создавать сам сайт, наполнять его контентом, добавлять пользователей.

7. Наконец, надо провести тестирование и апробацию сайта, его внедрение в рабочий процесс организации.

Окончательный вариант построенного сайта представлен на рисунке 7.

В работе осуществлена систематизация информации о поисковых системах, в том числе о порталах и сайтах. Рассмотрены соответствующие понятия, классификация, структура, методы описания, применяемые программные продукты и методы программной реализации, в том числе с помощью системы управления контентом. Показано отличие порталов от сайтов, корпоративных порталов от публичных порталов. Приведены примеры программной реализации системы управления и поисковой системы с построением сайта портала.

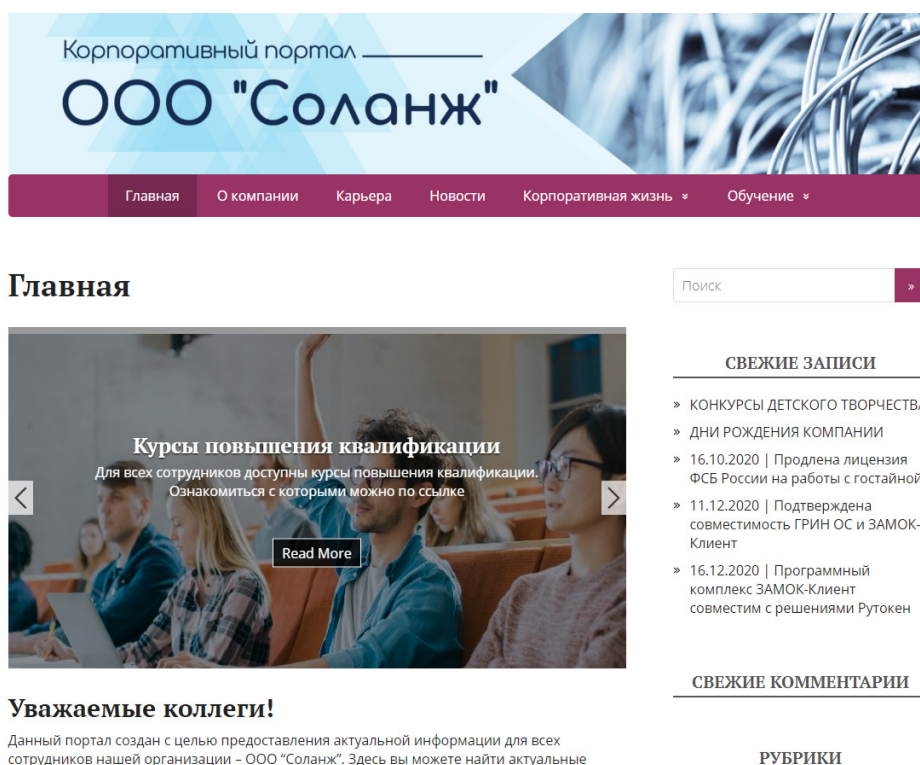


Рис. 7. Главная страница портала

## Литература

1. Web-графика. – URL: <https://topref.ru/referat/50547.html> (дата обращения: 10.06.2021). – Текст : электронный.
2. Цехановский, В. В. Распределенные информационные системы / В. В. Цехановский, В. Д. Чертовской – Санкт-Петербург : Лань, 2020. – 240 с.
3. Механизмы интеграции баз данных и программ анализа. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/mechanizmy-integratsii-baz-dannyh-i-programm-analiza> (дата обращения: 10.06.2021). – Текст : электронный.
4. Додян, Э. Г. Методы, модели, средства хранения / Э. Г. Додян, Ю. А. Зеленков – Москва : Инфра, 2017. – 167 с.
5. Дубова, Н. Краткий курс интеграции данных / Н. Дубова // Открытые системы. – 2016. – № 4.
6. URL: <http://qaru.site/questions/126239/how-to-insert-table-values-from-one-database-to-another-database> (дата обращения: 10.06.2021). – Текст : электронный.
7. Никсон, Р. Создаем Web-сайты с PHP, MySQL, JavaScript? CSS, HTML / Р. Никсон. – Москва : Питер, 2013. – 560 с.
8. Веллинг, Л. Разработка Web-приложений с помощью PHP и MySQL / Л. Веллинг, Л. Томсон. – Москва : Вильямс, 2010. – 320 с.
9. Хоган, Б. HTML5 и CSS3. Веб-разработка по стандартам нового поколения / Б. Хоган. – 2-е изд. – Санкт-Петербург : Питер, 2014. – 320 с.
10. Дуванов, А. А. Web-конструирование HTML / А. А. Дуванов. – Санкт-Петербург : БХВ, 2001. – 336 с.
11. Дакетт HTML и CSS. Разработка и создание вебсайтов. – Москва : Эксмо, 2013. – 475 с.
12. Хабибуллин, И. Ш. Разработка Web-служб средствами Java / И. Ш. Хабибуллин. – Санкт-Петербург : БХВ-Петербург, 2003. – 400 с.
13. Дунаев, В. В. Самоучитель. Сценарии для Web-сайта. PHP и JavaScript / В. В. Дунаев. – Санкт-Петербург : БХВ-Петербург, 2019. – 279 с.
14. Ставрова, О. Б. Введение в Интернет с электронным пособием по созданию web-страниц / О. Б. Ставрова. – Москва : Интеллект-Центр, 2005. – 80 с.
15. Большев, А. К. Администрирование систем сервисно-ориентированной архитектуры [Комплект] : учебное пособие / А. К. Большев, А. А. Лавров, В. В. Яновский ; Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет им. В.И. Ульянова (Ленина) ЛЭТИ. – Санкт-Петербург : СПбГЭТУ ЛЭТИ, 2011. – 96 с.
16. Гоше, Х. Д. HTML5. Для профессионалов / Х. Д. Гоше. – Санкт-Петербург : Питер, 2013. – 496 с.
17. Мак-Дональд, М. Создание Web-сайта. Недоступное руководство / М. Мак-Дональд. – Санкт-Петербург : БХВ-Петербург, 2013. – 624 с.
18. Роббинс, Дж. HTML5, CSS3 и JavaScript. Исчерпывающее руководство / Дж. Роббинс. – Москва : Эксмо, 2014. – 528 с.
19. Фрейн, Б. HTML5 и CSS3. Разработка сайтов для любых браузеров и устройств / Б. Фрейн. – Санкт-Петербург : Питер, 2014. – 304 с.
20. Фрэйн, Б. HTML5 и CSS3. Разработка сайтов для любых браузеров и устройств / Б. Фрэйн. – 2-е изд. – Санкт-Петербург : Питер, 2017. – 272 с.
21. Интернет-Технологии.ру. – URL: <https://www.internet-technologies.ru> (дата обращения: 10.06.2021). – Текст : электронный.
22. Дуванов, А. А. Web-конструирование DHTML / А. А. Дуванов. – Санкт-Петербург : БХВ, 2003. – 512 с.
23. Ташков, П. А. Веб-мастеринг на 100 %: HTML, CSS, JavaScript, PHP, CMS, AJAX, раскрутка / П. А. Ташков. – Москва : АСТ-Пресс, 2021. – 365 с.
24. Мейнджер, Д. JavaScript: основы программирования / Д. Мейнджер. – Киев : БХВ, 1997. – 510 с.
25. Бенкен, Е. PHP, MySQL, XML: программирование для Интернета / Е. Бенкен. – Санкт-Петербург : БХВ, 2007. – 336 с.
26. Хабибуллин, И. Ш. Разработка Web-служб средствами Java / И. Ш. Хабибуллин. – Санкт-Петербург : БХВ-Петербург, 2003. – 400 с.
27. Шилдт Герберт. Java 8. Полное руководство : перевод с английского / Шилдт Герберт. – 9-е изд. – Москва : ООО Вильямс, 2015. – 1 376 с.
28. Перроун, В. Д. Создание корпоративных систем на основе Java 2 Enterprise Edition. Руководство разработчика : перевод с английского / В. Д. Перроун, В. С. Р. Чаганти – Москва : Вильямс, 2001. – 1184 с.
29. Разработка Web-служб средствами Java. – Санкт-Петербург : БХВ, 2003. – 400 с.
30. Демченко Д. Обзор систем управления сайтом (CMS) / Д. Демченко. – URL: <http://www.white-windows.ru/obzor-sistem-upravleniya-sajtom-cms/> (дата обращения: 10.06.2021). – Текст : электронный.
31. Хилтер У. Этапы разработки web-сайта / У. Хилтер. – URL: <http://www.mistli.ru/etapi-razrabotki-web-sajta> (дата обращения: 10.06.2021). – Текст : электронный.

*V.D. Chertovskoy*

*Uljanov (Lenin) State Electrotechnical University Saint-Petersburg*

### CONSTRUCTION OF DISTRIBUTED SYSTEMS VIA WEBPORTALS AND WEBSITES

The article deals with the issues of formation and use of search systems. The systematization of the data on such digitalization tools as webportals and websites is presented. Their definitions and properties are given. Their link is pointed out. The classification, structure, peculiarities, construction technology are discussed. The applied-oriented examples of implementation of the search systems with portals and management systems.

Webportal, website concepts, classification, structure, programming methods.



## ФОРМИРОВАНИЕ МОДЕЛИ САМООРГАНИЗУЮЩИХСЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ

*Работа выполнена при поддержке РФФИ. Грант № 19-01-00103 А*

В статье рассматриваются вопросы совершенствования интеллектуальных информационно-телекоммуникационных систем (ИИТС), связанные с концепцией управления сетями связи на основе принципов самоорганизации. Приводятся обобщающие теории исторической формализации ИИТС. Определены требования к модели агентных сообществ, пространства поведения и эволюции в теоретико-категорном представлении функционирования ИИТС, приводится их функциональное описание.

Информационно-телекоммуникационные системы, самоорганизация, модели интеллектуальных агентов, категории, морфизмы, функторы, пространство эволюции.

Функционирование ИИТС, содержащих множества интеллектуальных агентов (ИА), направлено на обеспечение качественной работы информационных сервисов, удовлетворяющих определенным критериям качества. Основные принципы функционирования и задачи построения ИИТС рассмотрены в [1].

Увеличение сложности мультиагентного взаимодействия и управления, вызываемое ростом объемов ИТС, изменением топологии связей, запаздываниями при определении состояния ИА и ИТС, предполагает исследование возможностей взаимодействия, организации и самоорганизации ИА в саморазвивающемся сообществе, управляющие функционированием и развитием ИТС с обеспечением требуемых показателей качества обработки информации, на основе моделей нечетких и нейронных ИА.

Многоуровневая системная организация ИТС включает программные, программно-аппаратные и аппаратные компоненты, подлежащие и восприимчивые к программному и программно-аппаратному управлению, настройке и модификации.

В процессе развития ИТС может изменяться архитектура сети (добавление и удаление сегментов), меняться состав телекоммуникационного оборудования, количество и состав рабочих станций, параметры и характер трафика, приоритеты решаемых задач, глобальные и локальные критерии оптимизации.

Масштабы и скорость желаемых изменений требуют снижения влияния человеческого фактора на процессы модернизации и совершенствования ИТС.

Таким образом, возникает проблема постоянного и своевременного совершенствования ИТС, реконфигурации архитектуры вычислительных сетей, адаптации к изменяющимся требованиям как внутренней, так и внешней информационной среды.

Пути решения проблем адаптации и реконфигурации следует искать в области самосовершенствования и саморазвития в процессе эксплуатации и модернизации ИИТС, в развитии новых функциональ-

ных возможностей в соответствии с требованиями пользователей, структурой и характеристиками решаемых задач.

Самоорганизующиеся системы обладают рядом признаков, обусловленных наличием в системе активных элементов, обеспечивающих приспособляемость системы к изменяющимся условиям внешней среды, но формирующих неопределенности, препятствующие детерминированному управлению такой системой [2, 3]. Особенности класса ИИТС являются:

- нестационарность многих параметров ИИТС и стохастический характер поведения;
- необходимость и способность адаптироваться к изменяющимся условиям внешней инфокоммуникационной среды и противостоять воздействию помех и целенаправленному внешнему противодействию;
- принципиальная неравновесность и неопределенность глобальных состояний системы, основные параметры которой имеют нечеткий характер;
- способность противостоять энтропийным процессам, разрушающим систему, и формировать неэнтропийные процессы, обеспечивающие восстановление структуры и основных показателей функционирования ИИТС;
- способность формировать сценарии поведения активных компонентов ИТС, изменять программно-аппаратную структуру системы, обеспечивая установленные показатели эффективности;
- способность формировать внутренние цели активных компонентов ИИТС, соответствующие общим целям функционирования системы и задачам, поставленным пользователями ИИТС.

Результатом современного развития искусственных интеллектуальных систем является новая агентно-ориентированная структура, использование которой возможно для совершенствования ИИТС, – искусственные сообщества виртуальных сущностей (программных интеллектуальных агентов) и искусст-

венных автономных агентов (интеллектуальных роботов, способных функционировать в реальном мире).

Таким образом, при изучении агентных сообществ применительно к задачам совершенствования ИИТС подлежат исследованию следующие вопросы:

- каким образом формируются структура и состав сообществ ИА в иерархической структуре ИИТС, являются ли сообщества ИА конечными множествами или возможно использование потенциально бесконечного множества агентов;

- как следует классифицировать и какими формально-математическими средствами целесообразно описать ситуации взаимодействия агентов, определяющие возникновение и тип сообщества агентов в зависимости от таких параметров, как совместимость целей, наличие взаимных обязательств и ответственности, ограниченность ресурсов, недостаток индивидуального опыта, и пр.;

- каков состав и какова мощность множества факторов, обеспечивающих установление локальных пространственных и временных отношений между агентами (непосредственное общение или телекоммуникация, совпадение целей или столкновение интересов и пр.);

- как определить множество ресурсов взаимодействия, обеспечивающих поддержание необходимых отношений между агентами и их трансформацию в процессах самоорганизации и саморазвития ИИТС;

- каковы множества возможных индивидуальных действий и совместных действий агентов?

ИИТС являются динамическими и трудно предсказуемыми системами, поэтому невозможно определить полную априорную спецификацию всех действий, которые необходимо выполнять, всех необходимых знаний и способов их организации. Информационные и коммуникационные технологии, которые используются для поддержки организаций, действующих в открытых средах, сталкиваются с новыми ограничениями и требованиями для моделирования и поддержки открытых обществ. Традиционные методы моделирования, основанные на абсолютном и априорном знании предметной области и ее требований, неприменимы к открытым сообществам, включающим гетерогенные компоненты и динамические среды. Поэтому при формализации ИИТС необходимо отразить открытость информационно-программной среды и разнородность входящих в нее компонентов.

Модели агентных сообществ в ИИТС, по нашему мнению, должны удовлетворять следующим требованиям:

- внутренней автономии: структура сообщества и взаимодействие ИА внутри него должны описываться моделями, независимыми от конкретного внутреннего строения участвующих в нем сущностей и способов их программно-технической реализации;

- автономии сотрудничества: возможные активности и взаимодействия в сообществе должны быть определены без жесткой фиксации структур взаимодействия, оставляя возможность последующего формирования новых протоколов взаимодействия ИА в рамках сообщества.

Первое требование учитывает тот факт, что теоретически открытое сообщество ИА допускает уча-

стие в нем множественных, различных и гетерогенных ИА, количество, характеристики и архитектура которых могут быть заранее неизвестны разработчикам ИИТС.

Второе требование позволяет агентам иметь некоторую степень свободы в выборе их собственных путей достижения сотрудничества и, таким образом, увеличивает гибкость и адаптивность. Преимущества автономии сотрудничества заключаются в следующем:

- обеспечивается потенциальная расширяемость: не все должно быть, и часто не может быть известно заранее. Сообщество ИА может эволюционировать, при этом могут возникать новые виды взаимодействий и/или протоколы выполнения этих взаимодействий;

- гибкость: агенты получают возможность делать свой выбор самостоятельно, в зависимости от конкретной ситуации;

- возможность многократного использования на разных уровнях иерархии ИИТС: предусматривается возможность возникновения новых структур взаимодействия внутри сообщества и последующее создание структур взаимодействия между сообществами на более высоких уровнях иерархии.

Главными аспектами в определении сообщества являются цель, структура, правила и нормы. Структура определяется ролями, правилами взаимодействия и языком коммуникации. Правила и нормы описывают желаемое поведение членов и устанавливаются и приводятся в жизнь институтами, которые часто имеют легальные основания и, таким образом, придают членам легитимность и секретность.

Существенное преимущество организационно-ориентированного взгляда на проектирование ИИТС состоит в том, что он учитывает гетерогенность языков, приложений и архитектур в течение реализации. Организации можно рассматривать как множества сущностей, регулируемых механизмами социального порядка и порождаемых более или менее автономными действующими субъектами (актерами) для достижения общих целей. ИИТС, которые моделируют и поддерживают организации, должны базироваться на координационных структурах, которые приспособляют структуру частной организации и способы динамически адаптироваться к изменяющимся в организационной структуре целям и взаимодействиям. Структура организации определяет важные автономные действия, которые должны быть явно организованы внутри автономных сущностей и отношений в концептуальной модели агентного сообщества.

Проблемы исследования, описания и формализации скоординированного самоорганизующегося поведения были поставлены на рубеже 1990-х годов и рассмотрены в целом ряде работ. К настоящему времени известны следующие теоретические подходы и формализмы описания совместного поведения сообществ ИА.

В работах Philip R. Cohen, Hector J. Levesque [4, 5] были заложены основы теории взаимосвязанного поведения сообществ ИА на базе модели «Belief-Goal-Commitment» (убеждение–цель–обязательство), в которой намерения определены не как примитивные ментальные характеристики, а как внутренние обязательства агента выполнять определенные действия во время определенного ментального состояния.

В этих работах были поставлены проблемы перехода от общих к индивидуальным намерениям, с тем чтобы впоследствии перевести их в комплексное действие, сформулирована задача изучения функциональной роли общих намерений, а также обозначена проблема коммуникации в сообществе ИА. Коммуникация подразумевает, что ИА могут вовремя узнать о необходимости совместной активности, должны понять, когда совместные действия начинаются, когда отдельные агенты завершают свои частные действия, когда совместное действие завершается или оно становится ненужным.

Для построения теории общих намерений используется модальный квантифицированный язык с учетом семантик возможных миров, использующий следующие базовые понятия: событие, цель, убеждение, взаимное убеждение. Предполагается, что возможные миры распространяются на прошлое и будущее время и что каждый такой мир содержит бесконечную последовательность простых событий, каждое из которых имеет свой тип и связано с определенным агентом. События обычно связаны с конкретными агентами или объектами внешнего мира и отражают то, что с ними происходит в реальном времени.

Убеждения рассматриваются как знания агента об окружающем его внешнем мире. Они являются утверждениями, в истинности которых во всех достижимых мирах агент убежден в текущий момент времени. Убеждения могут изменяться со временем, но считается, что агенты в состоянии правильно сохранять память о своих прошлых убеждениях.

Наиболее желаемые агентом миры, выбираемые из множества возможных миров, называются доступными мирами. Предполагается, что этот выбор осуществим на основе имеющихся убеждений.

Цели же агента – это некоторые состояния, характеризующиеся утверждениями, истинными в этих состояниях, которые агент стремится достичь в пространстве доступных миров. Если существует убеждение, что некоторая цель может быть достигнута позднее, то такая цель называется достижимой целью. Считается, что агент знает все свои достижимые цели.

В реально существующих ИИТС возможны ситуации, когда ИА не в состоянии довести до членов сообщества информацию о статусе цели. Причинами этого могут быть отсутствие связи с некоторыми ИА, ошибки при передаче и кодировании/декодировании информации в ИТС, выход процессов оповещения агентов сообщества о статусе цели за границы предустановленных временных интервалов и т.п.

В процессе выполнения совместных действий ИА сообщества или команды должны осуществлять процессы коммуникации, понимать, когда совместное действие начинается, когда индивидуальные агенты могут выйти из него, когда совместное действие завершается. Остается неясным, как общие намерения соединить с процессами коммуникации ИА. Однако эти аспекты, связанные с динамикой планирования командной работы, в теории общих намерений не отражены.

Теория общих планов (ТОП) – «Shared Plans Theory». – представленная в работах Grosz B., Kraus S., Hunsberger L., [6, 7], строится на других основани-

ях. Авторы данной теории предполагают, что для индивидуального и мультиагентного планирования возможно создание начальных неполных планов, которые затем могут быть изменены и расширены.

В ТОП не используются общие для команды агентов ментальные понятия «общее намерение», «общая долговременная цель». Общий план (ОП) рассматривается как формальная спецификация требований ментального состояния участников совместной групповой деятельности, направленной на групповое принятие решений. ОП определяется в терминах намерений, убеждений и взаимных убеждений участников группы.

Формализация ОП включает множество аксиом, которые устанавливают различные свойства намерений и ограничений для них. Из этих аксиом выводятся условия кооперации и координации агентов, требуемые для выполнения коллективной деятельности.

В работе [7] первоначальные положения ТОП были развиты до модели CCSP (Coordinated Cultivation of Shared Plans), определяющей динамику отношений между процессами группового принятия решений, обновления намерений и разрешения конфликтов между индивидуальными и коллективными намерениями.

Недостатки теорий командной работы на практике обычно компенсируются некоторыми дополнительными средствами. Часто возникающие проблемы могут быть успешно разрешены благодаря использованию коммуникаций. Другой потенциально эффективный путь разрешения потенциальных проблем выполнения командной миссии – это обогащение знаний, которые используются агентами для построения плана и специальных структур их представления.

Формализация процессов самоорганизации в ИИТС может быть выполнена на основе аппарата теории категорий [8] и теоретико-категорного представления моделей ИА [9].

Пространство поведения ИА, включающее возможные интерпретации для конкретных предметных областей, определяется структурой  $\Pi = (\Omega, \Sigma, \Psi, \Theta, \Phi)$ , где  $\Omega$  – категория входящих сообщений,  $\Sigma$  – категория внутренних состояний ИА,  $\Psi$  – категория атрибутов ИА,  $\Theta$  – категория выходящих сообщений,  $\Phi$  – категория логических формул.

В пространстве поведения ИА выделяются состояния пространства  $\hat{\Pi}_i$ , определяемые конкретными комбинациями пар объектов и морфизмов в соответствующих категориях:

$$\hat{\Pi}_i = \langle (Ob_{i\Omega}, Hom_{i\Omega}), (Ob_{i\Sigma}, Hom_{i\Sigma}), \\ (Ob_{i\Psi}, Hom_{i\Psi}), (Ob_{i\Theta}, Hom_{i\Theta}), (Ob_{i\Phi}, Hom_{i\Phi}) \rangle.$$

В пространстве поведения определенного ИА формируются подмножества допустимых состояний  $\hat{\Pi}_D$ , в которых ИА может находиться в процессе своего функционирования, и недопустимых состояний  $\hat{\Pi}_N$ , в которых ИА не должен находиться.

Для изменения модели поведения ИА к категориям пространства  $\Pi = (\Omega, \Sigma, \Psi, \Theta, \Phi)$  применяются функторы, преобразующие исходные категории в но-

вые, необходимые для решения задач целесообразного поведения ИА. Таким образом, совокупность возможных пространств поведения ИА описывается как возможное пространство эволюции  $E$  :

$$E = \bigcup_{i=1}^n \Pi_i \text{ – при конечном числе возможных пространств поведения ИА,}$$

пространств поведения ИА,

$$E = \bigcup_{i=1}^{\infty} \Pi_i \text{ – при бесконечном числе возможных}$$

пространств поведения ИА.

Вводится в рассмотрение и пространство функторов

$$F = (F_{\Omega}, F_{\Sigma}, F_{\Psi}, F_{\Theta}, F_{\Phi}),$$

где  $F_{\Omega} = (F_{j\Omega} | j = 1, \dots, m_{\Omega})$ ,  $F_{\Sigma} = (F_{j\Sigma} | j = 1, \dots, m_{\Sigma})$ ,

$$F_{\Psi} = (F_{j\Psi} | j = 1, \dots, m_{\Psi}), F_{\Theta} = (F_{j\Theta} | j = 1, \dots, m_{\Theta}),$$

$$F_{\Phi} = (F_{j\Phi} | j = 1, \dots, m_{\Phi}).$$

Конкретное состояние пространства функторов определяется кортежем  $\hat{F}_j = \langle F_{j\Omega}, F_{j\Sigma}, F_{j\Psi}, F_{j\Theta}, F_{j\Phi} \rangle$ , индекс  $j$  может быть различным для разных групп функторов.

Построение возможных траекторий поведения интеллектуальных агентов ИИТС позволит исследовать модели эволюционирующих и саморазвивающихся сообществ в информационно-телекоммуникационных системах на различных уровнях системной иерархии.

### Литература

1. Швецов, А. Н. Модель интеллектуального агента информационно-телекоммуникационных систем на основе теории категорий / А. Н. Швецов, С. В. Дианов // Перспективное развитие науки, техники и технологий : сборник научных статей материалы 9-й Международной научно-практической конференции (Курск, 1 ноября 2019 г.) / редколлегия: Горохов А. А. (ответственный редактор) ; Юго-Западный государственный

университет. – Курск : Юго-Западный государственный университет, 2019. – С. 338–343.

2. Пригожин, И. Порядок из хаоса. Новый диалог человека с природой : перевод с английского / И. Пригожин, И. Стенгерс. – Москва : Едиториал УРСС, 2003. – 312 с.

3. Князева, Е. Н. Синергетика: Нелинейность времени и ландшафты коэволюции / Е. Н. Князева, С. П. Курдюмов – Москва : КомКнига, 2007. – 272 с.

4. Philip R, Cohen Teamwork / Philip R, Cohen, Hector J. Levesque // Nous. – 1991. – Vol. 25. – P. 487–512.

5. Philip R, Cohen. Foundation of Collaborative Task-Oriented Dialogue: What's in a Slot? / Philip R, Cohen // Proc. of the SIGDial Conference (Stockholm, Sweden, 11-13 September 2019). – Stockholm, 2019. – P. 198–209.

6. Grosz, B. Collaborative Plans for Complex Group Actions / B. Grosz, S. Kraus // Artificial Intelligence. – 1996. – Vol. 86. – P. 269–358.

7. Grosz, B. The dynamic of intentions in collaborative intentionality / B. Grosz, L. Hunsberger // In Cognition, Joint Action and Collective Intentionality, Special Issue, Cognitive Systems Research 7(2-3): 259-272. – URL: <http://nrs.harvard.edu/urn-3:HUL.InstRepos:2579645> (дата обращения: 26.11.2020). – Text : Electronic.

8. Маклейн, С. Категории для работающего математика / С. Маклейн ; перевод с английского под редакцией В. А. Артамонова. – Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2004. – 352 с.

9. Швецов, А. Н. Формализация интеллектуальных информационно-телекоммуникационных систем средствами математического аппарата теории категорий / А. Н. Швецов // Автоматизация и энергосбережение машиностроительного и металлургического производства: технология и надежность машин, приборов и оборудования. Материалы XIV Международной научно-технической конференции. – Вологда, 2020. – С. 236–244.

*A.N. Shvetsov*

*Vologda State University*

## FORMATION OF SELF-ORGANIZING INTELLIGENT INFORMATION AND TELECOMMUNICATION SYSTEMS MODEL

The article considers the issues of improving intelligent information and telecommunication systems (IITS) related to the concept of communication network management based on the principles of self-organization. Generalizing theories of historical formalization of IITS are given. The author defines the requirements for the model of agent communities, the space of behavior and evolution in the theoretical and categorical representation of the functioning of IITS and gives their functional description.

Information and telecommunication systems, self-organization, models of intelligent agents, categories, morphisms, functors, space of evolution.



*А.Г. Каптюшина, И.С. Кононов, А.Н. Бакунина  
Череповецкий государственный университет*

## ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЩЕБНЯ ИЗ БЕТОННОГО ЛОМА

*Работа выполнена в лаборатории кафедры строительства имени почетного профессора Череповецкого государственного университета, доктора технических наук В.С. Грызлова*

В статье оценивается актуальность вопроса использования отходов строительной индустрии, в частности бетонного лома, в качестве вторичного сырья; приводится анализ основных свойств щебня согласно действующим нормам; делается вывод о возможности применения дробленого бетона как крупного заполнителя в бетоне.

Вологодская область, бетонный лом, вторичный щебень, рециклинг, утилизация отходов.

Строительная индустрия является важной социальной и экономической отраслью, цель которой заключается в строительстве современных объектов на основе эффективных конструктивных решений, формирующих искусственную среду обитания человека, способствующую повышению уровня его жизнедеятельности. Стремительный промышленный рост конца XX – начала XXI в. создает серьезные проблемы во всем мире: истощение доступных природных ресурсов и увеличение количества отходов, не являющихся биоразлагаемыми [1].

По данным Европейской ассоциации по сносу зданий (EDA) каждый год на планете образуется около 2,5 млрд т строительных отходов [4].

В Вологодской области около 1,34 млн кв. м (4,1 % от жилищного фонда) приходится на ветхое и аварийное жилье, что составляет более 900 000 куб. м отходов бетонных, железобетонных и каменных конструкций.

В настоящее время наиболее распространенными видами утилизации строительных отходов являются:

- 1) захоронение на полигонах ТБО;
- 2) использование в качестве подстилающих слоев основания автомобильных дорог, площадок и прочих объектов с низкой степенью ответственности.

Следует отметить, что рост темпов сноса зданий значительно опережает процесс вторичного использования техногенного сырья, что, в свою очередь, способствует росту площадей, занимаемых строительным мусором. В результате такого процесса наносится ущерб экологии и экономике.

Актуальность поставленного вопроса связана со следующими обстоятельствами:

- 1) освобождение территорий, используемых в качестве отвалов бетонного лома (проблема экологической безопасности «зеленого строительства»);
- 2) сбережение природных ресурсов;
- 3) снижение транспортных расходов по доставке природного сырья;

4) снижение экологического ущерба от добычи строительных материалов;

5) экономия энергетических ресурсов.

Наиболее распространенными материалами для строительства зданий и сооружений являются: кирпич, бетон, железобетон, сталь и древесина. Сложность для вторичного использования представляют бетон и железобетон. Учитывая их распространенность в качестве строительных материалов и неспособность к биологическому разложению, был сделан вывод о необходимости изучения вопроса их рециклинга.

С.П. Олейник проанализировал рост жилья и объемы сноса зданий в России и пришел к выводу, что объем бетонного лома при разборке бетонных сооружений каждые 10 лет увеличивается примерно в 2 раза и на 2020 год составит 800 млн т [4].

Исследования целесообразности использования заполнителей из отходов дробления бетонного лома проводятся на протяжении более 50 лет.

А.А. Чернильник, А.В. Яновская, К.К. Евсюков и С.С. Ванян проводят сравнительное исследование трех видов щебня для бетона: терриконового, шлакового и вторичного. В результате исследования они делают вывод о возможности применения каждого вида щебня, при этом наилучшие результаты показывает шлаковый щебень [6].

В статье А.И. Шестернина, М.О. Коровкина и Н.А. Ерошкиной проверяется гипотеза применимости отсевов бетонного лома в качестве частичной замены природного песка в самоуплотняющихся бетонах. Авторы делают вывод о том, что возможно замещение до 50 % мелкого заполнителя отсевами дробленого бетона без существенного отклонения показателя прочности конечного продукта [7].

В настоящей работе для проведения исследований свойств щебня из бетонного лома использовались блоки ФБС. Изделия разбивались на куски размером до 600 мм, которые в дальнейшем перерабатывались на дробильной установке с получением щебня фракции 0–20 мм.

Испытания щебня из бетона проводились для фракции 5–20 мм в соответствии с требованиями [2].

В ходе исследования были определены истинная и насыпная плотности, межзерновая пустотность, влажность, водопоглощение, содержание пластинчатых и игловатых зерен, содержание пылевидных частиц, зерновой состав и дробимость при сжатии в цилиндре. Результаты испытаний сравнивались с требованиями [5] и [3].

**Целью** работы является исследование возможности применения бетонного лома в качестве заполнителя для производства бетона.

Зерновой состав щебня определялся путем рассева пробы на стандартном наборе сит с размером отверстий: 1,25; 2,5; 5; 10; 20 – для фракции 5–20 мм.

По результатам просеивания определялся частный остаток на каждом сите, а также полные остатки в процентах массы пробы, равные сумме частных остатков на данном сите и всех ситах с большими размерами отверстия. Протокол определения гранулометрического состава щебня приведен в таблице 1.

Таблица 1

**Протокол определения гранулометрического состава щебня фракции 5–20 мм**

Показатели	Размер отверстий сит, мм				Поддон, % по массе
	1,25 и 2,5	5	10	20	
Частные остатки, г	205	740	3230	815	190
Частные остатки, %	4,1	14,8	64,6	16,3	3,8
Полные остатки, %	99,8	95,4	80,6	16,3	100

Кроме этого, была установлена наибольшая ( $D_{наиб.}$ ) и наименьшая ( $D_{наим.}$ ) крупность зерен щебня. Согласно [3] для фракции 5–20 мм  $D_{наим.}=1,25$  мм,  $D_{наиб.}=20$  мм.

Качество зернового состава вторичного щебня оценивалось согласно [3] значениями полных остатков в процентах на ситах с контрольными отверстиями  $1,25 \cdot D_{наиб.}$ ,  $D_{наиб.}$ ,  $0,5 \cdot (D_{наиб.} + D_{наим.})$ ,  $D_{наим.}$ . По результатам испытаний были построены графики зернового состава щебня из бетона фракции 5–20 мм в сравнении с нормативными данными рассева для природного щебня (рис.).

Дробимость щебня определялась по степени разрушения зерен при сжатии (раздавливании) в цилиндре в сухом состоянии. За результат принималось среднее арифметическое значение двух параллельных испытаний.

В ходе эксперимента был получен показатель дробимости, равный

$$D_p = \frac{15,8 + 18,6}{2} = 17,2 \text{ \%}$$

Согласно [3] щебень из бетона фракции 5–20 мм имеет марку по дробимости 600.

Насыпная плотность щебня определялась взвешиванием определенного объема щебня, высушенного до постоянной массы. Согласно [2] масса лабораторной пробы для щебня с наибольшим номинальным диаметром зерен 20 мм должна быть равна 10 кг.

В работе была получена насыпная плотность, равная 1187,5 кг/м<sup>3</sup>.

Водопоглощение щебня из бетонного лома определялось сравнением массы проб щебня в насыщенном водой состоянии и после высушивания.

Для щебня фракции 5–20 мм было получено значение водопоглощения

$$W_{погл} = \frac{1600 - 1500}{1500} * 100 = 6,6 \text{ \%}$$

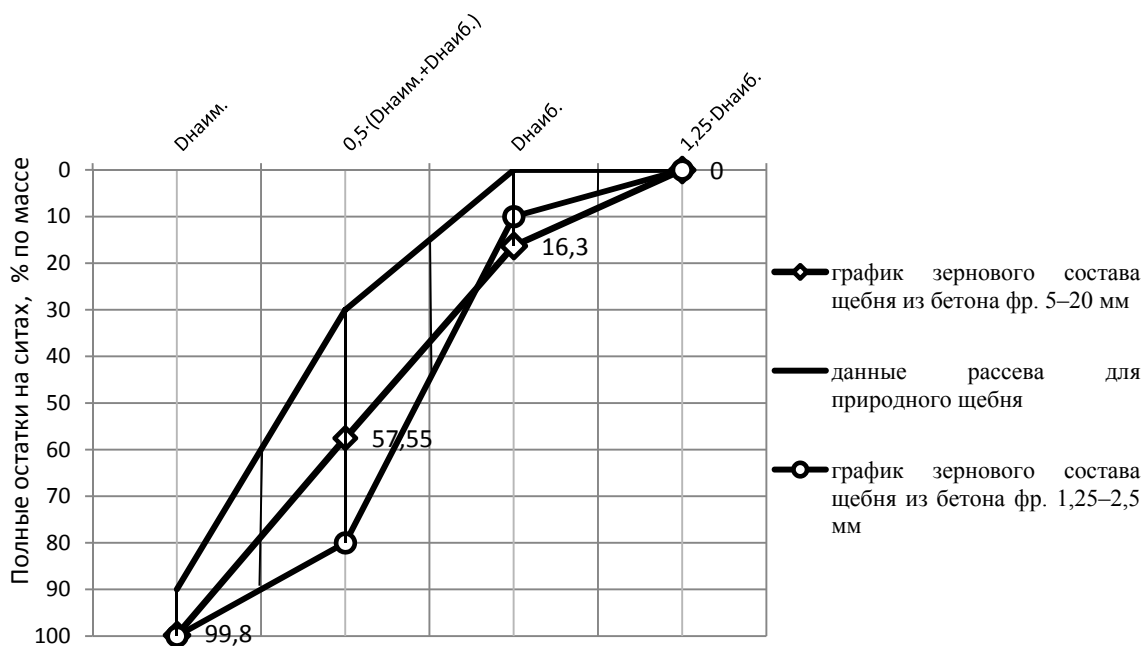


Рис. Зерновой состав щебня из бетона в сравнении с природным щебнем

Влажность щебня определялась путем сравнения массы пробы во влажном состоянии и после высушивания.

Значение влажности щебня составило

$$W = \frac{1500 - 1495}{1495} * 100 = 0,33 \%$$

Пустотность щебня определялась расчетным путем на основании предварительно установленных значений средней плотности зерен и насыпной плотности щебня.

Значение пустотности составило

$$V_n = \left(1 - \frac{1187,5}{2,25 * 1000}\right) * 100 = 47,2 \%$$

Содержание в щебне зерен пластинчатой (лещадной) и игловатой форм оценивается количеством зерен, толщина которых в три и более раза меньше длины (метод визуальной разборки).

Значение показателя равно

$$P_{пл} = \frac{62,6}{1000} * 100\% = 6,26 \%$$

Согласно [3] щебень с содержанием зерен пластинчатой и игловатой формы менее 15 % по массе относится к 1 группе.

Наличие пылевидных и глинистых частиц определялось по изменению массы щебня после отмучивания.

Значение показателя оказалось равно

$$P_{отм} = \frac{5000 - 4945}{5000} * 100 = 1,1 \%$$

По окончании испытаний показатели качества исследуемого фракционированного щебня сравнивались с требованиями [5] на щебень, получаемый при дроблении бетонных и железобетонных фрагментов изделий. Результаты сравнения приведены в таблице 2.

Таблица 2

**Сравнение результатов испытаний щебня из бетона с требованиями норм**

Наименование показателей	Эксперимент. Щебень из бетона фр. 5–20 мм	Требования ГОСТ для природного щебня	Требования ТУ для щебня из бетона
Насыпная плотность $\rho_n$ , кг/м <sup>3</sup>	1187,5	> 1200 (для плотных заполнителей)	1200–1300
Средняя плотность зерен $\rho$ , г/см <sup>3</sup>	2,25	2,0–3,0	2–3
Пустотность $V_n$ , % по объему	47,2	40–45	–
Содержание зерен пластинчатой и игловатой форм $P_{пл}$ , %	6,26	< 15 (1 группа)	< 25
Содержание пылевидных и глинистых частиц $P_{отм}$ , %	1,1	< 3	< 3
Водопоглощение $W_{п.}$ , % по массе	6,6	< 1	< 6
Влажность $W$ , % по массе	0,33	–	–
Марка по дробимости	600	> 400	> 200

По результатам работы можно сделать следующие выводы:

1. Данные таблицы 2 свидетельствуют о том, что исследуемый фракционированный щебень из бетона удовлетворяет условиям [2], согласно которым может быть применен в качестве крупного заполнителя для тяжелых бетонов классов по прочности до В30 включительно.

2. При сравнении результатов испытаний щебня из бетонного лома с требованиями [3] выяснилось, что он удовлетворяет большинству показателей свойств, которыми характеризуется природный щебень.

3. Зерновой состав щебня из бетона фракции 5–20 мм близок к заполнителям с оптимальной непрерывной гранулометрией (рис.) и соответствует требованиям [3].

4. Сопоставление графиков зернового состава и сравнение физико-механических характеристик щебня из бетона и природного щебня свидетельствуют о конкурентоспособности вторичного заполнителя. При этом наличие в исследуемом щебне растворного компонента, дающее ему более высокое водопоглощение и снижающее его насыпную плотность, принципиально отличает данный щебень от заполнителя из природного каменного материала. Количество содержания растворного компонента в различных фракциях вторичного использования имеет существенное значение для прогнозирования поведения этого материала в бетонных смесях и в затвердевшем бетоне.

5. Дробимость щебня из бетонного лома фракции 5–20 мм зависит непосредственно от прочности цементного камня. Именно его прочность и будет определять класс получаемого бетона. Сравнение результатов испытаний щебня из дробленого бетона с требованиями стандартов для природного щебня, подтверждает возможность использования вторичного щебня в качестве крупного заполнителя для тяжелого бетона класса по прочности до В25 включительно.

В заключение следует добавить, что необходимы дальнейшие исследования щебня из бетонного лома на предмет его микроструктуры и влияния на показатели бетона. Визуальный осмотр исходного материала и полученные характеристики выявили основные особенности вторичного щебня: наличие цементно-песчаного раствора на поверхности заполнителя, его высокую пористость и, как следствие, повышенное водопоглощение. Данные факторы требуют изучения их влияния на конечные характеристики щебня и получаемого бетона.

**Литература**

1. S. Shahidan, N. M. Damage severity evaluation on reinforced concrete beam by means of acoustic emission signal and intensity analysis / S. Shahidan, N. M. Bunnori, N. Md Nor and S. R. Basri // 2011 IEEE Symposium on Industrial Electronics and Applications, Langkawi, Malaysia. – 2011. – Vol. 11, № 20. – P. 337–341.

2. ГОСТ 8269.0-97. Щебень и гравий из плотных горных пород и отходов промышленного производства, для строительных работ. Методы физико-механических испытаний. – Текст : электронный // Техэксперт : информационно-справочная система /

Консорциум «Кодекс» (дата обращения: 10.06.2021). – Режим доступа: для авториз. пользователей.

3. ГОСТ 8267-93. Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ. Технические условия. – Текст : электронный // Техэксперт : информационно-справочная система / Консорциум «Кодекс» (дата обращения: 10.06.2021). – Режим доступа: для авториз. пользователей.

4. Олейник, С. П. Строительные отходы при реконструкции зданий и сооружений / С. П. Олейник. – Текст : электронный // Отходы и ресурсы. – 2016. – Т. 3, № 2. – URL: <http://resources.today/PDF/02RRO216.pdf> (дата обращения: 19.04.2021).

5. ТУ 5711-001-40296246-99. Щебень из бетона. Технические условия. – Текст : электронный // Техэксперт : информационно-справочная система / Кон-

сорциум «Кодекс» (дата обращения: 10.06.2021). – Режим доступа: для авториз. пользователей.

6. Исследование эффективности применения промышленных отходов в качестве заполнителей для бетона вибрированных железобетонных изделий и конструкций / А. А. Чернильник, А. В. Яновская, К. К. Евсюков, С. С. Ванян // Вестник Евразийской науки. – 2019. – № 3. – С. 2–6.

7. Шестернин, А. И. Использование бетонного лома для получения заполнителя бетона / А. И. Шестернин, М. О. Коровкин, Н. А. Ерошкина // Молодой ученый. – 2015. – № 12 (92). – С. 353–356.

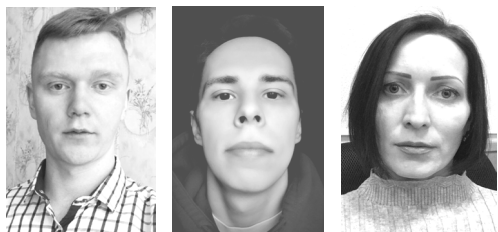
8. Департамент строительства Вологодской области. Структура жилищного фонда области по формам собственности. – URL: <http://depreregion.ru/Default.aspx?mnu=2a43a94379814dc6ab540723941930e1> (дата обращения: 19.04.2021). – Текст : электронный.

*A.G. Kaptyushina, I.S. Kononov, A.N. Bakunina*  
*Cherepovets State University*

#### **STUDY OF PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF CRUSHED STONE FROM CONCRETE SCRAP**

The article assesses the relevance of the building industry waste use, in particular, concrete scrap as a secondary raw material, provides the analysis of the crushed stone main properties according to current standards; it is concluded that crushed concrete can be used as a coarse aggregate in the concrete.

Vologda region, concrete scrap, recycled concrete aggregate, recycling, waste disposal.



*А.В. Копыльцов, И.В. Павлушков, О.А. Поварова*  
*Череповецкий государственный университет*

## **ПРОМЫШЛЕННАЯ АПРОБАЦИЯ ФОРМОВАНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПЕРЕМЫЧЕК ИЗ ПОЛИФРАКЦИОННОГО МЕЛКОЗЕРНИСТОГО ШЛАКОБЕТОНА**

В статье приведены результаты исследований по возможности использования шлакосодержащих вяжущих в производстве конструкционного бетона. Разработанный состав мелкозернистого шлакобетона был применен в производстве сборных железобетонных перемычек. Особенность состава состоит в том, что в качестве заполнителя в нем используется шлаковый песок. Часть цемента замещается тонкомолотой полифракционной шлаковой добавкой. Производство добавки осуществляется совместным помолом шлакового песка и отсевом шлакового щебня. Произведенные конструкции, отвечают необходимым требованиям по прочности и теплопроводности. Промышленная апробация формования железобетонных перемычек из полифракционного мелкозернистого шлакобетона показала возможность внедрения разработанного состава в массовое производство.

Мелкозернистый шлакобетон, железобетонные перемычки, отсев шлакового щебня, полифракционная шлаковая добавка, прочность, теплопроводность, ресурсоэффективность, промышленная апробация, внедрение.

Использование отходов промышленного производства для конструирования новых композиционных материалов особенно актуально в регионах с развитым металлургическим производством [1, 2].

Металлургическое производство сопряжено с большим объемом промышленных отходов, в том числе шлаков. Вместе с тем, важно понимать, что шлак, образующийся при выплавке стали, является ценным сырьем. На сегодняшний день доля перерабатываемых шлаков составляет от 40 до 48 процентов. В строительстве доменные шлаки и другие вещества чаще играют роль инертных заполнителей, что экономически неоправданно, учитывая ограниченность естественных ресурсов сырья для производства цемента.

Металлургические предприятия занимаются переработкой своих собственных шлаков. Не переработанные отправляются на размещение на промышленные полигоны. На Череповецком металлургическом комбинате компании ПАО «Северсталь» ежегодно образуется до 7 миллионов тонн отходов, в том числе отсев фракцией менее 5 мм, получаемый при производстве фракционированного шлакового щебня. Использование отсева ограничивает отсутствие сертификатов и технологических регламентов [4].

С увеличением масштабов строительства очевидной становится необходимость изучения вопросов управления свойствами бетонов на основе металлургических шлаков, так как сырье для производства таких бетонов является массовым, относительно дешевым и пригодным для изготовления широкого ассортимента изделий [2, 3].

Процесс проектирования состава состоял в постановке общей задачи и рассмотрении проектируемого объекта в качестве единой системы, в которой отражены основные требования к составу бетона. Целью была разработка мелкозернистого шлакобетона с использованием отходов металлургического производ-

ства, с заданными прочностными и теплозащитными характеристиками и применимого для производства железобетонных конструкций как методом опалубочного, так и безопалубочного формования.

Одним из основных способов создания бетонов является комбинирование различных компонентов [2]. Разработка опытного состава велась с целью достижения оптимального физико-химического взаимодействия компонентов. На начальном этапе было создано три опытных состава с одинаковыми компонентами, но в разных пропорциях фракций. На основе проведенных испытаний был выбран оптимальный состав.

Основной упор при выборе состава делался на установление высокой химико-минералогической однородности шлакобетона. В качестве вяжущего был применен Пикалевский цемент, в качестве заполнителя мелкозернистого бетона – шлаковый песок, в качестве добавки – помол шлакового песка и отсева шлакового щебня. Активная тонкомолотая добавка введена в состав бетона с целью замещения 30 % вяжущего, без потери свойств. Введение добавки является важным этапом, поскольку современными трендами развития мировой цементной отрасли является:

- снижение энергоемкости производства портландцемента и уменьшение экологической нагрузки на окружающую среду,

- оптимизация процессов структурообразования за счет введения активных минеральных добавок в качестве компонента при помолу вяжущего, позволяющая увеличить ресурсы вяжущих.

Производство полифракционной шлаковой добавки осуществлялось совместным помолом шлакового песка и отсева шлакового щебня, в процентном соотношении 70 на 30 в электрической шаровой мельнице. Во время работы мельницы металлургические шары, находящиеся в ней, трением смешивают и перемалывают компоненты до однородной сыпучей массы. По-

мол осуществляется на протяжении 6 часов, после чего материал просеивается через сито, во избежание попадания крупных не перемолотых частиц и металлических шаров из мельницы. Измеряется тонкость помола. Готовая тонкомолотая добавка представлена на рисунке 1.



Рис. 1. Полифракционная шлаковая добавка

Системность работы заключается в выборе и следовании определенному направлению производства бетона. Схема выбранного направления представлена на рисунке 2.

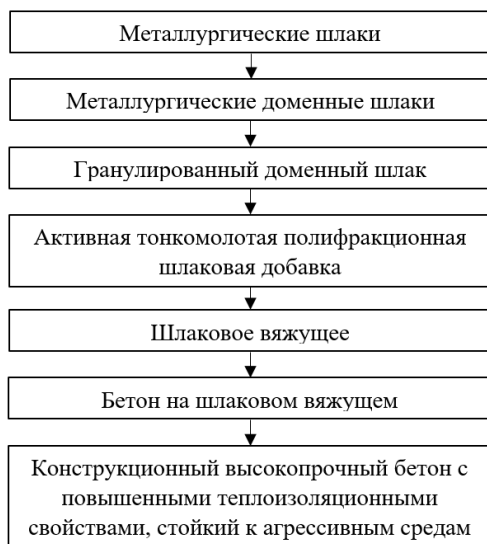


Рис. 2. Схема направления проектирования состава

В качестве железобетонных изделий для внедрения состава в производство были выбраны сборные железобетонные перемычки 1ПБ-13-1П с габаритными размерами 1290×120×65 мм (представлены на рис. 3). Данный вид железобетонных изделий является широко применимым в строительном производстве и наименее материалоемким. Перемычки изготавливают на заводах сборного железобетона и в готовом виде доставляют на строительную площадку для их монтажа. Они применяются в строительстве зданий и сооружений для перекрытия дверных и технологических проемов. Рассчитаны на работу под статическими и динамическими нагрузками при сгибающих и сжимающих деформациях.

Производство осуществлялось на специально оборудованной линии в закрытом цехе завода железобетонных изделий и конструкций предприятия ПАО «ЗЖБИиК».

На начальном этапе производства состава мелкозернистого шлакобетона осуществляется доставка компонентов в производственный цех. Доставка сыпучих материалов выполняется автотранспортом. Отдельные компоненты загружаются в емкости для хранения. Приготовление бетонной смеси представляет собой точное дозирование и смешивание исходных материалов и должно обеспечить получение однородной системы. Количественный состав мелкозернистого шлакобетона представлен в таблице 1.

Таблица 1

**Количественный состав мелкозернистого шлакобетона на 1 м<sup>3</sup>**

№ п/п	Компонент	Содержание компонента, %	Масса компонента, кг/м <sup>3</sup>
1	Цемент М500 производства «Пикалевский цемент» ЦЕМ I 42,5Н	20,1	378,6
2	Шлаковый песок производства ПАО «Северсталь»	60,5	1136,7
3	Полифракционная шлаковая добавка, компоненты производства ПАО «Северсталь»	8,66	162,8
4	Вода водопроводная	10,74	202

Производство сборных железобетонных конструкций на основе мелкозернистого шлакобетона отличается от производства конструкций из обычного бетона лишь используемыми в составах компонентами. Разработанный состав имеет требуемую удобоукладываемость, соответствующую способу уплотнения. Для производства сборных железобетонных перемычек в качестве уплотнения бетонной смеси применяется вибрирование. При укладке в металлические формы состав сохраняет изначальную однородность. Это является отличительной особенностью мелкозернистых бетонов. Особенностью разработанного состава является повышенная жесткость смеси, но в целом это не влияет на удобоукладываемость и тиксотропию, а лишь требует несколько большего по времени вибрирования. Жесткость бетонной смеси была определена согласно [8]. Требуемая осадка конуса для малоармированных конструкций должна быть в пределах 2–4 мм [6]. Осадка конуса испытываемого состава составила 1–2 мм. Исходя из полученных значений, можно говорить о том, что разработанный мелкозернистый шлакобетон имеет жесткость Ж1. Вибрирование состава осуществляется с соблюдением техники безопасности (все рабочие покидают зону вибрационных площадок). Состав равномерно распределяется по формам, занимая 2/3 объема. Вибрационные площадки выключают. Начинается второй этап подачи состава в формы. После его завершения вибрационные площадки включают вновь. Состав полностью заполняет объем форм. Площадки отключаются. Рабочие убирают излишки состава. Далее мостовым краном формы складываются в паллеты. Окончательный набор прочности конструкции получают после обработки в пропарочных камерах. После этого производится распалубка форм. Готовые перемычки представлены на рисунке 3.



Рис. 3. Производство перемычек ПБ-13-1П

Испытания перемычек нагружением для контроля их прочности, жесткости и трещиностойкости проводились по достижении бетоном прочности, соответствующей его классу по прочности на сжатие.

На прочностные характеристики мелкозернистого шлакобетона оказывает весомое влияние его структура. Преимуществом мелкозернистого шлакобетона, а именно структуры цементного камня с высокой удельной поверхностью новообразований, является

то, что в ней сглаживаются типы условных микротрещин, уменьшаются их размеры, снижается концентрация напряжений, а прочностные и упругопластичные свойства, наоборот, имеют более высокие показатели [1].

В доказательство этого были проведены испытания образцов призм и кубов на сжатие. Испытания проводились по прошествии 28 суток. Кубиковая прочность на сжатие тяжелого шлакобетона на полифракционном шлаковом вяжущем составила 46,0 МПа, что соответствует классу бетона В35 по [9]. Испытания призмной прочности шлакобетона производились нагружением ступенями. График зависимости деформаций от уровня напряжений представлен на рисунке 4. Рост деформаций наблюдается после нагружения до 20 000 кгс/см<sup>2</sup>, а после 40 000 кгс/см<sup>2</sup> рост деформаций снижается. Разрушающая нагрузка составила 79 750 кгс/см<sup>2</sup> или 7820 МПа.

Испытания на теплопроводность производились этапами, после каждой ступени нагружения призмы. На основе полученных показателей теплопроводности бетона составлен график зависимости теплопроводности от нагрузки (рис. 5).

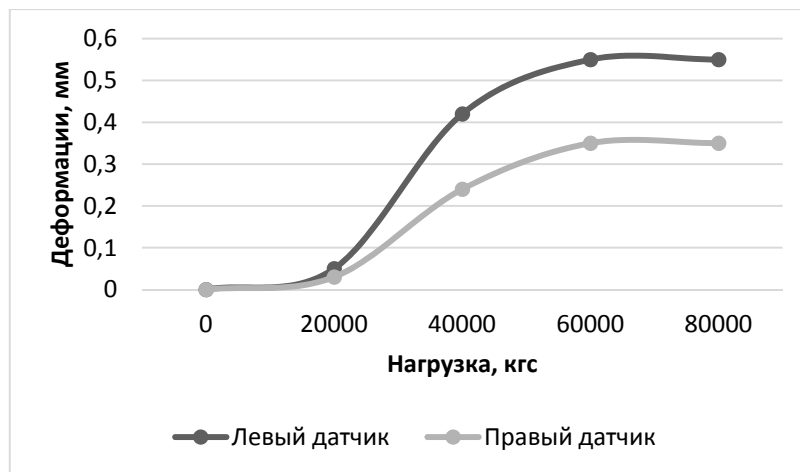


Рис. 4. График зависимости деформаций от уровня напряжений

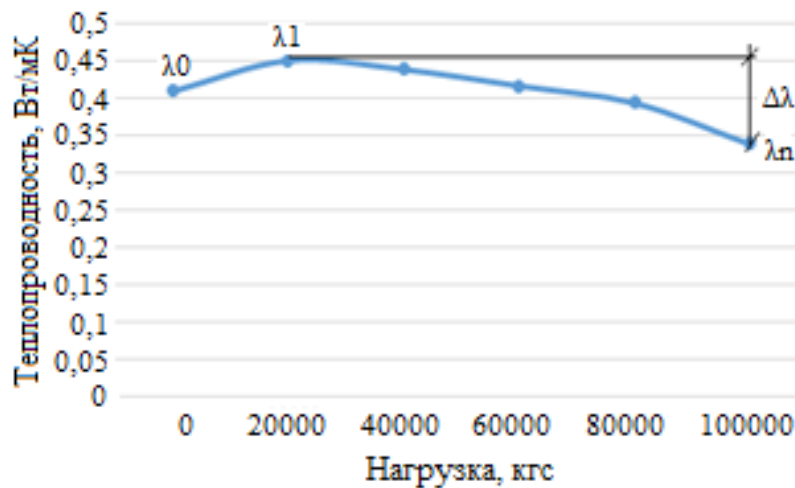


Рис. 5. График зависимости теплопроводности от нагрузки

Данный график демонстрирует, что изначально, под действием нагружения, теплопроводность возрастает, достигает определенного максимума, а затем снижается. Это обусловлено тем, что образующиеся в шлакобетоне микротрещины создают дефектность структуры, которая, в свою очередь, препятствует переносу тепловой энергии. Значение  $\Delta\lambda(t)$  составляет 0,11 Вт/мК, что способствует уменьшению теплопроводности бетона и увеличению эксплуатационных характеристик конструкций.

Исходя из полученных результатов испытаний, можно судить о синергетическом эффекте повышения эксплуатационных свойств бетона. Повышенные прочностные характеристики позволяют осуществить производство широкого ассортимента конструкций, а повышенные теплозащитные характеристики позволят снизить затраты на теплозащиту конструкций.

Сложившаяся в России практика применения отходов промышленности ориентирована на использование металлургических шлаков в качестве заполнителей (шлаковый щебень, гранулированный шлак, шлаковая пемза, шлакоминеральные смеси) [7]. В разработанном составе тяжелого мелкозернистого шлакобетона на полифракционном шлаковом вяжущем содержатся такие компоненты, как шлаковый песок и отсев шлакового щебня. Отсев в больших количествах содержится в отвалах на площадях ПАО «Северсталь». Внедрение состава в производство позволит задействовать большое количество неиспользуемого сырья, что повлечет за собой выгоду для предприятия.

В результате промышленной апробации состава мелкозернистого шлакобетона можно сделать вывод о его пригодности для производства сборных железобетонных изделий, в частности железобетонных перемычек. Это подтверждается полученным на предприятии ПАО «ЗЖБИиК» актом о внедрении состава в производство и проведенными испытаниями.

*A.V. Kopyltsov, I.V. Pavlushkov, O.A. Povarova*  
*Cherepovets State University*

## **INDUSTRIAL APPROBATION OF THE FORMATION OF REINFORCED CONCRETE LINKS FROM POLYFRACTIONAL FINE-GRAINED SLAG CONCRETE**

The article presents the results of the studies on the possibility of using slag-containing binders in the production of structural concrete. The developed composition of fine-grained slag concrete was used in the production of prefabricated reinforced concrete lintels. The peculiarity of the composition is that it uses slag sand as a filler. Part of the cement is replaced by a finely ground polyfraction slag additive. The additive production is carried out by joint grinding of slag sand and screening of crushed slag. The manufactured structures meet the necessary requirements for strength and thermal conductivity. Industrial testing of the formation of reinforced concrete lintels from polyfraction fine-grained slag concrete has shown the possibility of introducing the developed composition into mass production.

Fine-grained slag concrete, reinforced concrete bulkheads, screening of crushed slag, polyfractional slag additive, strength, thermal conductivity, resource efficiency, industrial testing, implementation.

## **Литература**

1. Гатылюк, А. Г. Определение оптимального состава мелкозернистого шлакобетона на отходах металлургического производства / А. Г. Гатылюк, В. С. Грызлов // Вестник Череповецкого государственного университета. – 2013. – Т. 1. – № 2 (47). – С. 9–11.
2. Грызлов, В. С. Формирование структуры шлакобетонов : монография / В. С. Грызлов. – Череповец : ЧГУ, 2011. – 274 с.
3. Утилизация металлургических шлаков: учебное пособие / В. С. Грызлов, А. Г. Каптюшина, А. И. Фоменко [и др.]. – Череповец : ЧГУ, 2012. – 158 с.
4. Грызлов В. С. Отсев дробления шлакового щебня как эффективный компонент бетона / В. С. Грызлов, Д. В. Завьялова // Строительные материалы. – 2018. – № 5. – С. 40–43.
5. Концепция утилизации малоактивных компонент бетонных смесей / Ю. В. Дмитрак, С. А. Масленников, В. Х. Дзапаров, Б. В. Дзеранов // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. – 2020. – № 11–12. – С. 47–53.
6. Зоткин, А. Г. Бетон и бетонные конструкции : учебное пособие / А. Г. Зоткин. – Ростов-на-Дону : Феникс, 2012. – 335 с.
7. Попов, В. Г. Создание строительных материалов на основе отходов / В. Г. Попов, А. В. Попов, В. Н. Кротов // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. – 2017. – № 5–6.
8. ГОСТ 10181-2014. Смеси бетонные. Методы испытания : межгосударственный стандарт : введен 2015-07-01. – Текст : электронный // Техэксперт : информационно-справочная система / Консорциум «Кодекс» (дата обращения: 10.06.2021). – Режим доступа: для авториз. пользователей.
9. ГОСТ 26633-2015. Бетоны тяжелые и мелкозернистые : межгосударственный стандарт : введен 2016-09-01. – Текст : электронный // Техэксперт : информационно-справочная система / Консорциум «Кодекс» (дата обращения: 10.06.2021). – Режим доступа: для авториз. пользователей.



## СНИЖЕНИЕ ШУМА В ПОМЕЩЕНИЯХ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ И РЕКОНСТРУКЦИИ ЗДАНИЙ

В статье рассмотрен вопрос снижения шума в помещениях жилого здания методом звукоизоляции с применением двойных ограждающих конструкций из слоистых элементов с вибропоглощением. Показано, что данный способ позволяет снизить уровень шума в помещении до нормативных значений без увеличения поверхностной плотности и толщины ограждения.

Звукоизоляция, вибропоглощение, звукопоглощение.

При строительстве новых, реконструкции или капитальном ремонте жилых и общественных зданий одной из основных задач является создание эффективных звукоизолирующих ограждений, отвечающих действующим нормативным индексам изоляции воздушного шума и при этом имеющих относительно небольшую поверхностную плотность и толщину.

С такой задачей столкнулись жильцы многоквартирного жилого дома при перепланировке квартиры. Изначально между санузлом и комнатой была возведена каркасная перегородка, выполненная по металлическому каркасу с заполнением воздушного зазора звукопоглощающим материалом толщиной 50 мм с обшивкой из гипсокартонных листов по одному листу с каждой стороны. При измерениях изоляции воздушного шума существующей перегородки индекс составил 44 дБ, что не соответствует нормативным значениям. По существующим нормам индекс изоляции воздушного шума перегородкой между санузлом и комнатой одной квартиры должен составлять 47 дБ. Данному требованию отвечают различные легкие ограждения из слоистых элементов, выполненные из обшивочных листов, соединенных «насухо». Проведенные исследования подтверждают, что предложенные конструкции при их целенаправленном проектировании с заданными звукоизоляционными характеристиками можно использовать для создания акустического комфорта в помещениях [6].

Одним из способов повышения звукоизоляции легких ограждений является использование слоистых элементов с вибропоглощением, которые, в сравнении с однослойными ограждениями или листами, соединенными «насухо», равной поверхностной плотности, имеют повышенную звукоизоляцию за счет высокого коэффициента потерь и смещения граничной частоты волнового совпадения в область высоких частот [3, 4]. Слоистые элементы с вибропоглощением представляют собой два тонких листа, соединенных между собой вибропоглощающим материалом. Индекс изоляции воздушного шума данных слоистых элементов выше, чем у листов, соединенных «насухо», на 3÷5 дБ. Также влияние на звукоизоляцию двойных ограждений оказывает наличие связей между слоями [1, 2].

Измерение изоляции воздушного шума перегородкой между санузлом и комнатой одной квартиры в натуральных условиях в соответствии с действующими нормами и в лабораторных условиях по стандартной методике проведены ранее [5].

Большие реверберационные помещения, конструктивное решение которых представлено на рисунке 1, построены и оборудованы по стандарту. Реверберационные помещения объемами 99 м<sup>3</sup> и 57 м<sup>3</sup> предназначены для исследования изоляции воздушного шума ограждений площадью до 11,2 м<sup>2</sup>.

Для создания диффузного звукового поля обоим помещениям придана неправильная форма. Помещение низкого уровня опирается на грунт через отдельный фундамент. Оба помещения отделены друг от друга слоем виброизоляции, что практически исключает косвенную передачу звука.

Ограждающие конструкции помещений кирпичные, оштукатурены с железнением поверхности, окрашены масляной краской, покрытие пола – керамическая плитка.

Акустическая аппаратура состоит из двухканального модульного анализатора 2260 фирмы «Брюль и Кьер» в реальном масштабе времени со встроенным генератором шума, трех усилителей MAKRO 1400 и всенаправленного источника звука 4292-L фирмы «Брюль и Кьер».

В качестве перегородки между санузлом и комнатой была предложена двойная ограждающая конструкция из слоистых элементов с вибропоглощением на металлическом каркасе с зазором, заполненным звукопоглощающим материалом. Слоистые элементы выполнены из гипсокартонных листов толщиной по 12,5 мм, склеенных вибропоглощающей мастикой. В качестве звукопоглощающего материала использовались минераловатные плиты объемной плотностью 45 кг/м<sup>3</sup>, толщиной 25 мм (рис. 2). Разработанное двойное ограждение имеет толщину 77 мм, которая практически не отличается от толщины существующей перегородки, что позволяет сохранить площади помещений.

Полученные частотные зависимости звукоизоляции существующей и разработанной перегородки между санузлом и комнатой в натуральных и лабораторных

условиях представлены на рисунке 3. По графикам видно, что индекс изоляции воздушного шума двойного ограждения из слоистых элементов с вибропоглощением больше, чем у существующего ограждения,

и составляет 49 дБ в лабораторных условиях и 47 дБ в натуральных условиях. Разница значений индекса изоляции воздушного шума в лабораторных и натуральных условиях связана с косвенной передачей звука.

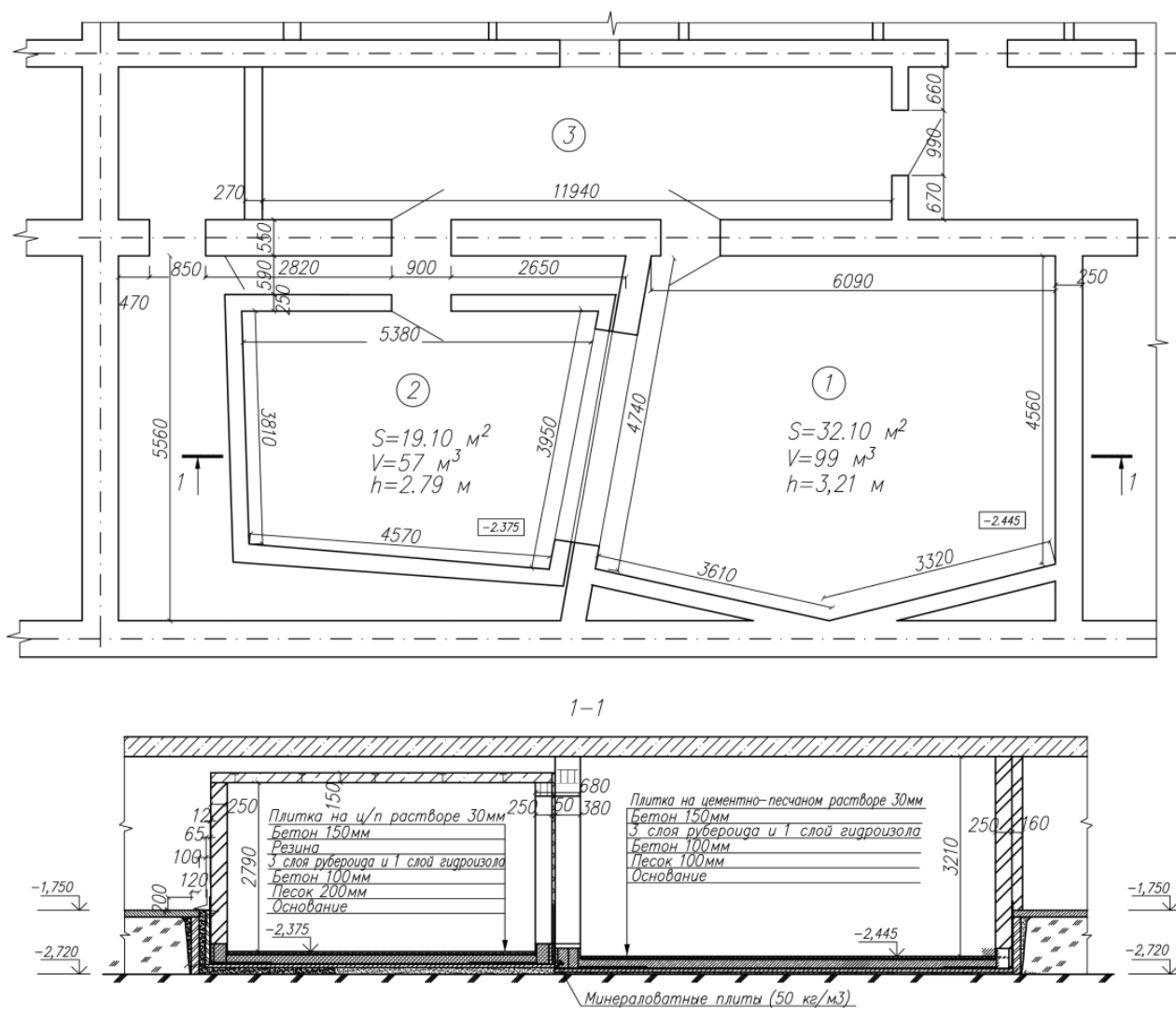


Рис. 1. План и разрез реверберационных помещений ВоГУ:  
1 – помещение высокого уровня; 2 – помещение низкого уровня; 3 – аппаратная

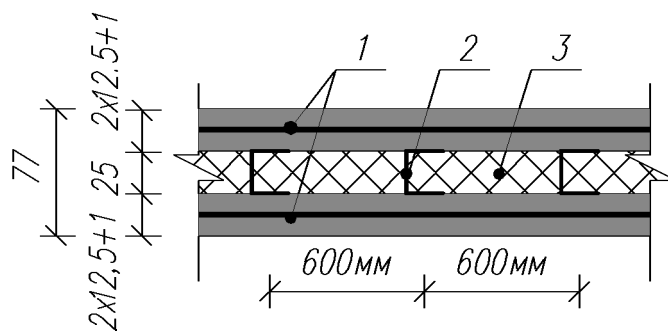


Рис. 2. Конструктивное решение двойной ограждающей конструкции из слоистых элементов с вибропоглощением:  
1 – два слоя ГКЛ толщиной по 12,5 мм, склеенных ВПМ;  
2 – профиль ПС25х50; 3 – звукопоглощающий материал толщиной 25 мм

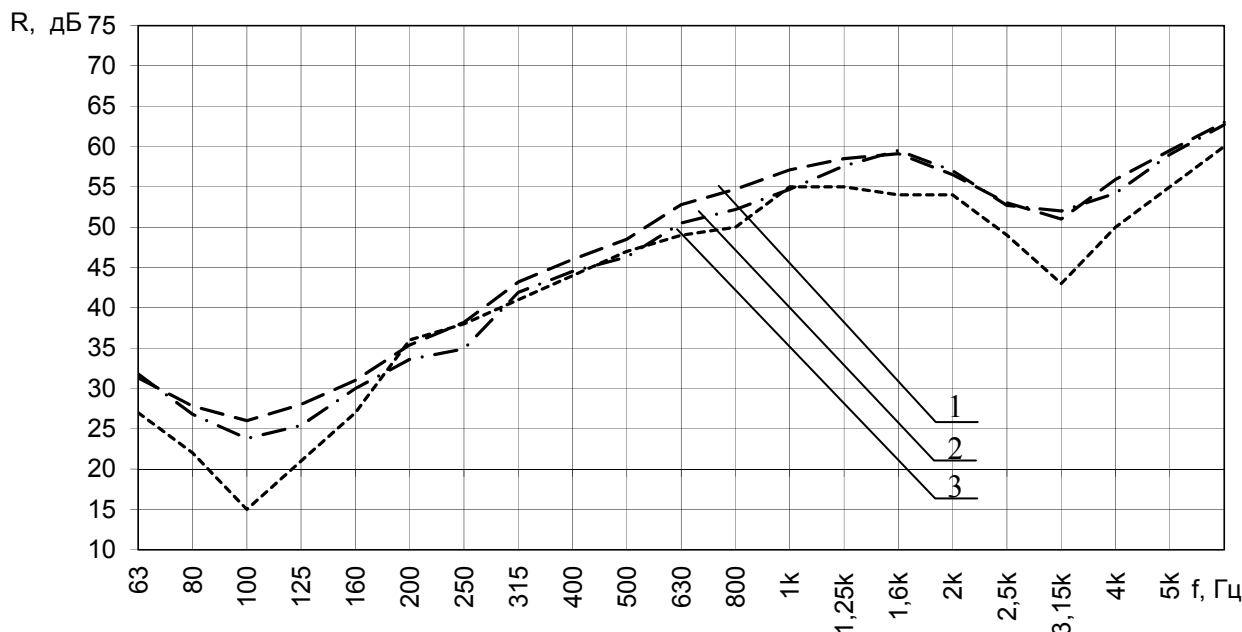


Рис. 3. Частотные характеристики звукоизоляции: 1 – двойное ограждение из слоистых элементов, выполненных из ГКЛ толщиной по 12,5 мм, склеенных ВПМ, с зазором, заполненным ЗПМ толщиной 25 мм (в акустических помещениях ВоГУ),  $R_w = 49$  дБ; 2 – двойное ограждение из слоистых элементов, выполненных из ГКЛ толщиной по 12,5 мм, склеенных ВПМ, с зазором, заполненным ЗПМ толщиной 25 мм (в натуральных условиях),  $R_w = 47$  дБ; 3 – каркасная перегородка с однослойными обшивками из ГКЛ толщиной по 12,5 мм с зазором, заполненным ЗПМ толщиной 50 мм,  $R_w = 44$  дБ (в натуральных условиях)

### Литература

1. Численное моделирование звукоизолирующих каркасно-обшивных перегородок с различными типами стоечных профилей / В. Н. Бобылев, В. В. Дымченко, Д. В. Мониц, П. А. Хазов // Приволжский научный журнал. – 2018. – № 1 – С. 20–23.
2. Дымченко, В. В. Повышение звукоизоляции каркасно-обшивных перегородок путем применения рациональной конструкции стоечных профилей / В. В. Дымченко, Д. В. Мониц // Приволжский научный журнал. – 2014. – № 3 (31). – С. 48–52.
3. Кочкин, А. А. Исследование звукового давления в воздушном промежутке двойной ограждающей конструкции из слоистых вибродемпфированных элементов / А. А. Кочкин, Л. А. Борисов // Жилищное строительство. – 2015. – № 7. – С. 52–54.

4. Кочкин, А. А. Исследование изоляции воздушного шума двойными ограждающими конструкциями / А. А. Кочкин, А. В. Киряткова, И. Л. Шубин // Бюллетень строительной техники. – 2018. – № 6 (1006). – С. 20–21.

5. Кочкин, Н. А. Исследование звукоизоляции ограждающих конструкций в реверберационных камерах ВоГУ / Н. А. Кочкин, А. В. Киряткова // Устойчивое развитие региона: архитектура, строительство, транспорт. Материалы 4-й Международной научно-практической конференции / Институт архитектуры, строительства и транспорта Тамбовского государственного технического университета. – Тамбов, 2017. – С. 166–173.

6. Минаева, Н. А. Анализ звукоизоляционных качеств каркасно-обшивных перегородок // АСADEMIA. Архитектура и строительство. – 2018. – № 4. – С. 137–141.

*A.A. Kochkin, A.V. Ivanova*  
Vologda State University

### REDUCTION OF NOISE IN ROOMS DURING THE USE AND RECONSTRUCTION OF BUILDINGS

The article discusses the issue of noise reduction in the premises of a residential building by the method of sound insulation with the use of double enclosing structures made of laminated elements with vibration absorption. It is shown that this method allows to reduce the noise level in the room to standard values without increasing the surface density and thickness of the fence.

Sound insulation, vibration absorption, sound absorption.



## РАЗРАБОТКА СПОСОБА ПОЛУЧЕНИЯ КОМПОЗИТА ИЗ ОТХОДОВ ЛЕСНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ БЕЗ ПРИМЕНЕНИЯ ФЕНОЛФОРМАЛЬДЕГИДНЫХ СМОЛ

В статье рассмотрены варианты применения альтернативных вяжущих для композитов на основе отходов лесной промышленности, представлен сравнительный анализ результатов исследования образцов, полученных с применением альтернативных вяжущих и образцов на основе фенолформальдегидных смол, а также приведен обзор подобных материалов и способов их получения.

Фенолформальдегидные смолы, альбумин, казеин, ПВА, отходы лесной промышленности, композиты.

Сегодня основными источниками образования древесных отходов являются лесопромышленные комплексы и деревоперерабатывающие комбинаты. Кроме того, древесные отходы образуются при санитарной рубке, в процессе ухода за зелеными насаждениями на улицах, в парках, скверах, бульварах и лесопарках. Получение экологически чистых дешевых строительных материалов, свободных от десорбирующих химических веществ – одна из важных проблем строительного материаловедения. Благодаря применению различных технологий переработки, возможно вовлечь большую долю древесных отходов в производство подобных материалов. Мы обратили внимание на экологичные аналоги фенолформальдегидных связующих – альбуминовый, казеиновый клей и ПВА.

На сегодняшний день тема вовлечения древесных отходов в производство различных композитов широко рассматривается в науке. Однако применение экологических связующих широкого рассмотрения не находит. Исследование носит передовой, инновационный характер.

Сегодня основными связующими материалами являются клеи с внесением различных добавок и отвердителей. Рассмотрим варианты, имеющие место на рынке:

1) **Альбуминовый клей** – клей, полученный из белка, содержащегося в крови животных. Склеивание основано на свойстве этого белка при нагревании выше температуры 75 °С твердеть и переходить в нерастворимое состояние. Альбумин получают при выпаривании сыворотки крови, предварительно очищенной от фибрина – нерастворимого белка, образующегося при свертывании крови. Альбуминовый клей применяется главным образом при изготовлении фанеры сырой и сухой горячей склейки. Непосредственно в промышленности он не применяется.

2) **Казеиновый клей** – натуральный клей животного происхождения, основным веществом которого выступает казеин, получаемый из молочного белка. Клей применяется для склеивания разных сор-

тов древесины и древесных материалов, при фанерном производстве с использованием прессования. Используется в картонажном производстве, мебельной и строительной промышленности. Свойства клея улучшают характеристики, а также и структуру дерева.

3) **Клей-расплав** – это термопластичный клей, основой которого являются полиамид, полиэфир и терпеновая смола. В состав также входят канифоль, кварцевая мука, а также вещества, предотвращающие окисление при высокой температуре. На склеиваемые поверхности клей обычно наносится роликом. Эти клеи имеют высокую адгезию к древесине и другим материалам, не токсичны, стойки к атмосферным воздействиям.

4) **Поливинилацетатные дисперсии**. ПВА-дисперсия – это клей, получаемый в результате полимеризации винилацетата. Часто применяются при склеивании щитов из массивной древесины и изготовления щитовой мебели. Склеивание ПВА-дисперсией основано на слипании отдельных частиц в сплошную пленку при удалении растворителя. В результате склеивания получается эластичный клеевой слой. Однако клей не является водостойким и стойким к действию низких и высоких температур.

5) **Карбамидоформальдегидные смолы**. Сырьем для их производства является карбамид. Для синтеза применяются катализаторы, способные изменить кислотность среды. Таким образом, КФ-смолы при хорошей адгезии к древесным материалам дают прочные, стойкие к действию холодной воды клеевые соединения. Их атмосферостойкость средняя, скорость отверждения в 2–2,5 раза выше, чем у фенолформальдегидных смол. Их недостаток – наличие непрореагировавшего формальдегида, который выделяется при склеивании и эксплуатации.

6) **Фенолформальдегидные смолы**. Фенолформальдегидные смолы и клеи на их основе могут применяться как для холодного, так и для горячего склеивания, могут твердеть при нагревании и под действием специальных веществ – отвердителей. Фенолформальдегидные смолы обладают хорошей ад-

Таблица 1

**Сравнение плотности полученного материала  
и его аналогов**

Параметр	Полученный материал на основе ПВА, без фибры	Полученный материал на основе ПВА, с фиброй	ДСП П1-П3 (по ГОСТ 10632-70*)	ДВП
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	418	384	650–850	800–1000

Таблица 2

**Сравнение прочности полученного материала  
и аналогов**

Параметр	Полученный материал на основе ПВА, без фибры	Полученный материал на основе ПВА, с фиброй	ДСП П1-П3 (по ГОСТ 10632-70*)	ДВП
Предел прочности на сжатие, МПа	3,92	6,86	5–25	5

\*Данный ГОСТ был принят в качестве справочного материала для определения нормативного предела прочности на сжатие, в новых ГОСТах такой параметр не рассматривается.

гезией к древесине, дают прочные и водостойкие клеевые соединения. Недосток – дефицитность сырья, более высокая стоимость по сравнению с КФ-клеями, токсичность.

Анализируя рассмотренные методы, можно с уверенностью сказать, что представленные в данной статье аналоги десорбирующих связующих находят применение в промышленном производстве.

Целью работы является исследование возможности и анализ целесообразности применения экологически чистых и безвредных связующих для производства композитов на основе отходов древесной промышленности.

После анализа различных вариантов связующих, способных создать древесный композит, не уступающий по качествам композитам, полученным с использованием фенолоформальдегидных вяжущих, было решено испытать три вида альтернативных клеев – альбуминовый, казеиновый и ПВА-дисперсию. Эти виды связующих способны создать прочное соединение при краткосрочной термической обработке, что важно в условиях промышленного производства. Стоит отметить, что применение ПВА-дисперсии связано с рядом проблем, так как твердение этого вида связующего в большом объеме материала затрудняется удалением растворителя из внутренней части.

В качестве древесных отходов были использованы сосновые опилки различных параметров. Помимо клеящего состава и сырья, было решено ввести в состав отходы производства базальтовой фибры, представляющие собой нити сечением 1,5–2 мм и длиной 25–30 мм. Введение в состав пространственно-армирующей добавки – фибры – позволит достичь повышения сопротивления материала к воздействию касательных напряжений при загрузении.

После сушки и обработки сырья антисептирующим составом производился подбор оптимального количества вяжущего. На данном этапе исследования была рассмотрена возможность применения ПВА-дисперсии. Подготовленное сырье смешивалось с ПВА и помещалось в формы для получения стандартных образцов. Материал в формах также подвергался уплотнению для получения равномерной структуры, без значительных включений воздуха. Было принято решение производить прочностные испытания полученного композита на стандартных образцах для испытания бетонов, так как материал обладает изотропностью. Затем производилась термическая обработка материала при температуре 40–60 °С, с целью сокращения времени отвердевания и более полного удаления компонента растворителя из состава ПВА-дисперсии. Обработка проводилась циклами по 15 минут, так как длительное воздействие высоких температур приводит к потере клеящих свойств состава, а нагревание выше 100 °С вызывает разложение ПВА. После достижения постоянства веса образцов обработка прекращалась и проводились прочностные испытания.

Предлагается сравнить плотность и прочность полученных материалов с имеющимися сегодня на рынке аналогами (древесно-стружечные плиты), таблицы 1, 2.

Подводя итоги данного этапа исследования, можно утверждать, что, несмотря на сложности применения, использование ПВА-дисперсии в качестве связующего для изготовления композитов на основе отходов лесной промышленности может найти свое применение. Полученный материал обладает сравнительно низкой плотностью при прочности, сопоставимой с композитами на основе фенолформальдегидных смол. Следующим этапом нашего исследования станет изготовление плитных материалов на основе ПВА-дисперсии для сравнения такого вида материала с ДСП по ГОСТ 10634-88. Стоит отметить, что он предусматривает измерение таких характеристик, как прочность на растяжение и изгиб. Также планируется исследование подобных материалов на основе альбуминового и казеинового клеев.

В ходе исследовательской работы мы добились прогресса в поиске не десорбирующего фенол альтернативного связующего для производства композитов на основе отходов лесной промышленности. Полученный материал сопоставим по характеристикам с ДСП и ДВП, что говорит о перспективности продолжения таких исследований.

### Литература

1. Мищенко, О. А. Экологичность использования плитных древесных композиционных материалов в строительстве / О. А. Мищенко, В. П. Тищенко // Дальний Восток: проблемы развития архитектурно-строительного комплекса. – 2016. – № 1. – С. 282–287.
2. Егоров, Е. Д. Свойства древесины и композиционных конструкционных материалов, содержащих древесину / Е. Д. Егоров, К. Д. Ивашкина, А. Ф. Гордова // Устойчивость материалов к внешним воздействиям.

Сборник трудов II Всероссийской научно-практической конференции. – Химки, 2020. – С. 52–57.

3. Безопасность и экологичность современных строительных материалов. ДЕРЕВО / Д. А. Панкратова, А. П. Белова, О. Е. Борисова, Д. В. Долгушин // Инновационные методы проектирования строительных конструкций зданий и сооружений : сборник научных трудов 2-й Всероссийской научно-практической конференции. – Курск, 2020. – С. 202–204.

4. Иванов, В. А. Конструкции из дерева и пластмасс / В. А. Иванов, В. З. Клименко. – Киев : Вища школа. Головное издательство, 1983. – 279 с.

5. ГОСТ 10632-70. Плиты древесностружечные : введен 1971-01-01. – Текст : электронный // Техэксперт : информационно-справочная система / Консорциум «Кодекс» (дата обращения: 10.06.2021). – Режим доступа: для авториз. пользователей.

6. ГОСТ 10632-77. Плиты древесностружечные : введен 1978-01-01. – Текст : электронный // Техэксперт : информационно-справочная система / Консорциум «Кодекс» (дата обращения: 10.06.2021). – Режим доступа: для авториз. пользователей.

7. Модлин, Б. Д. Производство древесностружечных плит / Б. Д. Модлин, И. А. Отлев – Москва : Высшая школа, 1977. – 216 с.

*T.A. Polyakov, N.A. Poluektova, O.A. Povarova*  
*Cherepovets State University*

#### **DEVELOPMENT OF A METHOD FOR OBTAINING COMPOSITE FROM FOREST INDUSTRY WASTE WITHOUT USING PHENOL-FORMALDEHYDE BINDING AGENTS**

This article reviews the options for using alternative binding agents for composites based on forest industry waste, a comparative analysis of the research results of samples obtained using alternative binders and samples based on phenol-formaldehyde binding agent, and an overview of such materials and methods for their production.

Phenol-formaldehyde binding agent, albumin glue, casein glue, PVC, forest industry waste, composites.



## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СЫПУЧЕГО МАТЕРИАЛА

В статье рассматривается способ определения меры инертности сыпучего материала, что имеет существенное значение при разработке и проектировании вибрационных сортировальных машин. В основе решения этой задачи лежит представление состояния сыпучего материала в виде суперпозиции его крайних состояний – полной неподвижности и максимальной подвижности. Рассмотрены функции состояния материала и экспериментально-аналитические методы их определения. На основе предложенной методики произведен расчет динамических параметров сыпучего материала для конкретного примера.

Суперпозиция, граничные состояния, функции состояния, подвижность, неподвижность, переменная состояния, частота колебаний.

При линейных колебаниях массивных решетных станов развивается значительная реактивная мощность [1]. Существенное влияние на эту мощность оказывает динамика сыпучего материала.

Целью работы является определение меры инертности сыпучего материала.

Задача исследования состоит в обосновании представления сыпучего материала в виде суперпозиции его подвижного и неподвижного состояний.

Пусть степень подвижности сыпучего материала относительно решета оценивается величиной  $\xi$ , при этом  $\xi \in [\xi_a, \xi_z] \subset \mathbb{R}$ . Представление  $\xi$  в виде суперпозиции граничных состояний  $\xi_a$  и  $\xi_z$  имеет вид:

$$\xi = \varphi_a \xi_a + \varphi_z \xi_z, \quad (1)$$

где  $\varphi_a$  и  $\varphi_z$  – функции состояния.

Актуальность темы обусловлена необходимостью расчета динамики решетного стана в совокупности с сыпучим материалом [2–5]. Основная трудность этой задачи состоит в отсутствии даже приблизительных сведений об обобщенном коэффициенте динамического трения, поскольку на его величину существенно влияет перемещение сыпучего материала во всем его объеме, а не только в плоскости соприкосновения с решетками. Представление динамического состояния сыпучего материала в виде суперпозиции его подвижного и неподвижного состояний позволяет решать эту и подобные задачи.

Дальнейшее рассмотрение ограничивается широко распространенными в практических задачах моделями с взаимоисключающими равновеликими граничными состояниями.

**Суперпозиция взаимоисключающих равновеликих граничных состояний.** Такими состояниями в рассматриваемом случае являются  $\xi_a$  – неподвижность сыпучего материала относительно решета и  $\xi_z$  – его подвижность. При этом

$$|\xi| = |\xi_a| = |\xi_z|. \quad (2)$$

Равенство может необходимо обеспечиваться, если, например, соответствующие величины измеряются в процентах: неподвижность  $\xi_a = 100\%$  и подвижность  $\xi_z = 100\%$ .

Из этого следует, что

$$\varphi_a + \varphi_z = 1$$

и промежуточное состояние можно представить в виде:

$$\xi = \varphi_a \xi_a + (1 - \varphi_a) \xi_z = (1 - \varphi_z) \xi_a + \varphi_z \xi_z.$$

Состоянию  $\xi_a$  соответствует максимальная частота колебаний  $\omega_a$ , при которой сыпучий материал остается неподвижным относительно решета за счет статической силы трения. При этом он совершает колебания относительно корпуса сортировальной машины с теми же частотой и амплитудой, что и решетный стан. Состоянию  $\xi_z$  соответствует минимальная частота  $\omega_z$ , при которой сыпучий материал остается неподвижным относительно корпуса машины благодаря инерции. При этом он совершает колебания относительно решета с теми же частотой и амплитудой. Очевидно, что  $\omega_a < \omega_z$ .

При частоте  $\omega_a < \omega < \omega_z$   $\varphi_a$ -часть сыпучего материала условно может считаться неподвижной относительно решета,  $\varphi_z$ -часть – подвижной.

Функции состояния связаны с частотой колебаний, которая является переменной состояния. Переменными состояниями в общем случае могут быть другие величины – время, скорость, температура, влажность и т.д.

**Функции состояния.** Пусть  $x$  – переменная состояния,  $x \in [x_a, x_z] \subset \mathbb{R}$ . Переменная состояния является аргументом функции состояния.

Функции состояния могут быть линейными:

$$\begin{aligned} \varphi_a(x) &= 1 - p(x - x_a), \quad p \in \mathbb{R}, \\ \varphi_z(x) &= p(x - x_a), \\ p(x_z - x_a) &= 1. \end{aligned} \quad (3)$$

Во многих случаях функции состояния являются нелинейными, при этом чаще всего их аналитическое изображение неизвестно.

Для рассматриваемых моделей с взаимоисключающими равновеликими граничными состояниями функции состояния, как правило, являются непрерывными и монотонными на интервале  $[x_a, x_z]$ . При этом  $\varphi_a$  изменяется от 1 до 0, а  $\varphi_z$  – от 0 до 1. При этих условиях функции состояния в большинстве практических случаев являются аналитическими на интервале  $[x_a, x_z]$  и могут быть представлены в виде разложений в ряды, например, Тейлора:

$$\varphi_a(x) = \varphi_a(x_w) + \varphi'_a(x_w)(x - x_w) + \frac{\varphi''_a(x_w)}{2!}(x - x_w)^2 + \dots + \frac{\varphi^{(n)}_a(x_w)}{n!}(x - x_w)^n, \quad (4)$$

при условии пренебрежимой малости остаточного члена. Здесь  $x_w \in [x_a, x_z]$ . В пользу ряда Тейлора говорят, например, то, что (3) является его частным случаем при  $n = 1$ .

Величины

$$\varphi_a(x_w), \varphi'_a(x_w), \varphi''_a(x_w), \dots, \varphi^{(n)}_a(x_w) \quad (5)$$

можно рассматривать как параметры функции состояния. Для их определения необходимо найти, например, экспериментально, помимо  $\varphi_a(x_w)$ , еще  $n$  конкретных значений функции состояния  $\varphi_a(x_1), \varphi_a(x_2), \dots, \varphi_a(x_n)$  и составить в соответствии с (4) систему из  $n$  уравнений с  $n$  неизвестными.

Так как граничные значения функции состояния известны, границы интервала  $[x_a, x_z]$  без труда можно определить в соответствии с (4).

Поскольку  $\xi_a$  – неподвижность, а  $\xi_z$  – подвижность сыпучего материала, то  $\varphi_a(x)$  можно рассматривать как функцию неподвижности, а  $\varphi_z(x)$  – как функ-

цию подвижности. При этом (5) являются параметрами функций подвижности и неподвижности.

Аналогичным образом могут определяться функции для других состояний.

**Пример.** Для решетчатой машины [6] экспериментально получены следующие данные:  $n_w = 8 \text{ с}^{-1}$  (рабочий режим) ( $n = \omega/2\pi$ ),  $\varphi_a(n_w) = 0,320$ ;  $n_1 = 3 \text{ с}^{-1}$ ,  $\varphi_a(n_1) = 0,822$ ;  $n_2 = 5 \text{ с}^{-1}$ ,  $\varphi_a(n_2) = 0,579$ ;  $n_3 = 12 \text{ с}^{-1}$ ,  $\varphi_a(n_3) = 0,122$ . Система уравнений для этих данных в соответствии с (4) имеет вид

$$\begin{cases} 0,822 = 0,320 + \varphi'_a(8)(3-8) + \frac{\varphi''_a(8)}{2!}(3-8)^2 + \frac{\varphi'''_a(8)}{3!}(3-8)^3 \\ 0,579 = 0,320 + \varphi'_a(8)(5-8) + \frac{\varphi''_a(8)}{2!}(5-8)^2 + \frac{\varphi'''_a(8)}{3!}(5-8)^3 \\ 0,122 = 0,320 + \varphi'_a(8)(12-8) + \frac{\varphi''_a(8)}{2!}(12-8)^2 + \frac{\varphi'''_a(8)}{3!}(12-8)^3 \end{cases}$$

Решение системы:

$$\varphi'_a(8) = -6,825 \cdot 10^{-2}, \quad \frac{\varphi''_a(8)}{2!} = 5,456 \cdot 10^{-3},$$

$$\frac{\varphi'''_a(8)}{3!} = -1,977 \cdot 10^{-4}.$$

Таким образом, функция неподвижности (4) имеет вид

$$\varphi_a(n) = 0,320 - 6,825 \cdot 10^{-2}(n-8) + 5,456 \cdot 10^{-3}(n-8)^2 - 1,977 \cdot 10^{-4}(n-8)^3.$$

Функция подвижности соответственно

$$\varphi_z(n) = 0,680 + 6,825 \cdot 10^{-2}(n-8) - 5,456 \cdot 10^{-3}(n-8)^2 + 1,977 \cdot 10^{-4}(n-8)^3.$$

По известным граничным значениям функций состояния (0 и 1) определяются граничные значения переменной состояния:  $n_a = 1,8 \text{ с}^{-1}$ ,  $n_z = 17,2 \text{ с}^{-1}$ .

На рисунке изображены функции состояния для рассматриваемого примера.

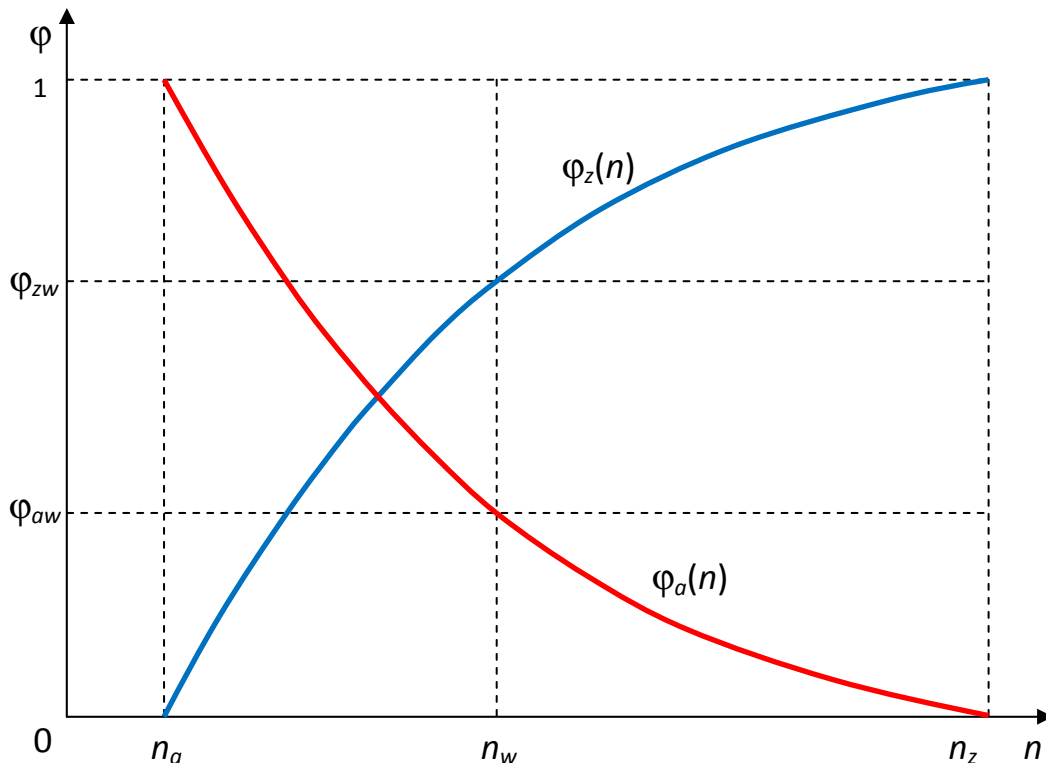


Рис. Функции состояния:  $\varphi_a(n)$  – функция неподвижности,  $\varphi_z(n)$  – функция подвижности

Состояние сыпучего материала на рабочей частоте  $n_w = 8 \text{ с}^{-1}$  определяется суперпозицией его граничных состояний:

$$\xi = \varphi_a(n_w)\xi_a + \varphi_z(n_w)\xi_z = 0,32\xi_a + 0,68\xi_z.$$

Для определения инерционных и диссипативных нагрузок привода решетчатого стана суперпозиция граничных состояний может быть распространена на массу сыпучего материала  $m$ . Для этого последнее выражение, имея в виду (2), следует разделить на  $|\xi|$  и умножить на  $m$ .

$$m = \varphi_a(n_w)m + \varphi_z(n_w)m = 0,32m + 0,68m.$$

Это можно условно интерпретировать таким образом, что часть сыпучего материала массой  $0,32m$  совершает колебания вместе с решетчатым станом, внося вклад в инерционную нагрузку, а часть сыпучего материала массой  $0,68m$  за счет подвижности относительно решетки создает силу трения и соответствующую диссипативную нагрузку [7].

Этот способ может использоваться для объектов с другими параметрами и состояниями.

**Алгоритм экспериментального определения значений функции подвижности сыпучего материала.** Движения решетчатых станов сортировальной машины сопровождаются знакопеременными ускорениями. При положительном ускорении привод сообщает решетчатому стану существенную кинетическую энергию. При отрицательном – энергия передается от решетчатого стана приводу. Развиваемая мощность, следовательно, является знакопеременной или реактивной.

При сдвиге фаз колебаний двух решетчатых станом на  $\pi$  снимается динамическая нагрузка на корпус сортировальной машины, но не решается проблема нейтрализации нагрузок привода решетчатых станом и питающей сети – момент на валу привода и потребляемая мощность остаются знакопеременными.

При сдвиге фаз колебаний двух решетчатых станом на  $\pi/2$  знакопеременные инерционные мощности решетчатых станом взаимно нейтрализуются и поток знакопеременной мощности питающей сети равен нулю, что позволяет существенно сократить потребление энергии из сети [8, 9] при обеспечении балансировки машины [10, 11].

Для двух решетчатых станом, совершающих колебания в противофазах, при отсутствии сыпучего материала измеряется мощность  $P$ , развиваемая приводом на частоте  $n_c$ . Она состоит из двух неизвестных частей –  $P_{11}$  и  $P_{21}$ , обусловленных соответственно инерционными и диссипативными нагрузками.

После этого от общего приводного вала решетчатым станом сообщают колебания той же частоты  $n_c$ , сдвинутые друг относительно друга на четверть периода колебаний. В этом случае решетчатые станом обмениваются кинетической энергией между собой, а не с приводом, для которого в этой связи часть мощности, обусловленная инерционной нагрузкой, равна нулю. Измеренная мощность привода равна  $P_{21}$ . По измеренным  $P$  и  $P_{21}$  определяется  $P_{11}$ .

Решетчатые станом загружаются сыпучим материалом, и на той же частоте  $n_c$  выполняются аналогичные

измерения, в результате которых становятся известными величины  $P_{12}$  и  $P_{22}$ .

Искомая часть массы сыпучего материала  $\varphi_a(n_c)m$ , вносящая вклад в инерционную нагрузку, определяется разностью  $P_{12} - P_{11}$ .

Часть массы сыпучего материала  $\varphi_z(n_c)m$ , вносящая вклад в диссипативную нагрузку, определяется как

$$\varphi_z(n_c) = m - \varphi_a(n_c)m.$$

По части диссипативной мощности  $P_{22} - P_{21}$  и  $\varphi_z(n_c)m$  можно определить обобщенный коэффициент динамического трения системы «решетчатый стан – ворох».

Не всегда имеется возможность определить граничные состояния исследуемого объекта  $\xi_a$  и  $\xi_z$ . В этом случае вместо (1) можно использовать его обобщение:

$$\xi = \varphi_b(x)\xi_b + \varphi_y(x)\xi_y, \quad \xi \in [\xi_b, \xi_y] \subset [\xi_a, \xi_z].$$

Представление динамического состояния сыпучего материала в виде суперпозиции его граничных состояний (подвижности и неподвижности) позволяет установить совокупную инертную массу решетчатого стана и расчетной части сыпучего материала, без чего невозможно корректное решение задачи динамики решетчатой сортировальной машины [12].

## Литература

1. Попов, И. П. Диссипативная, реактивная и полная мощности виброприводов машин / И. П. Попов // Вестник Вологодского государственного университета. – 2019. – № 3 (5). – С. 72–74.
2. Коробчук, М. В. Обзор современных вибрационных смесителей сыпучих материалов и тенденции их развития / М. В. Коробчук, А. Н. Веригин // Южно-Сибирский научный вестник. – 2020. – № 4 (32). – С. 32–45.
3. Локтионова, О. Г. Математическое моделирование вибрационных машин для переработки сыпучих материалов / О. Г. Локтионова, С. Ф. Яцун, Л. В. Лукин // Известия Курского государственного технического университета. – 1997. – № 1. – С. 11–20.
4. Попов, И. П. Исследование вынужденных колебаний механических систем / И. П. Попов // Вестник Вологодского государственного университета. – 2019. – № 4 (6). – Ч. 1. – С. 21–25.
5. Попов, И. П. Исследование вынужденных колебаний механических систем / И. П. Попов // Вестник Вологодского государственного университета. – 2020. – № 1 (7). – С. 27–32.
6. Попов, И. П. Построение вибрационных сортировальных машин по схеме мультиинертного осциллятора / И. П. Попов // Вестник Вологодского государственного университета. – 2020. – № 3 (9). – С. 14–17.
7. Попов, И. П. Производительная мощность при сортировке сыпучих материалов / И. П. Попов // Вестник Вологодского государственного университета. – 2020. – № 1 (7). – С. 70–72.
8. Попов, И. П. Инертная колебательная система из двух грузов для вибрационных механизмов / И. П. Попов // Вестник Вологодского государственного университета. – 2020. – № 2 (8). – С. 10–12.

9. Popov, I. P. Free harmonic oscillations in systems with homogeneous elements / I. P. Popov. – DOI: 10.1016/j.jappmathmech.2012.09.005 // Journal of Applied Mathematics and Mechanics. – 2012. – Vol. 76. Iss. 4. – P. 393–395.

10. Попов, И. П. Самобалансировка вибрационных механизмов / И. П. Попов // Вестник Вологодского государственного университета. – 2018. – № 2 (2). – С. 16–19.

11. Попов, И. П. Применение искусственной массы для балансировки механизмов / И. П. Попов // Вестник Вологодского государственного университета. – 2021. – № 1 (11). – С. 19–21.

12. Попов, И. П. Использование инертного триплетного маятника в вибрационных сортировальных машинах / И. П. Попов // Вестник Вологодского государственного университета. – 2020. – № 3 (9). – С. 11–13.

*I.P. Popov*  
*Kurgan State University*

#### **DETERMINATION OF BULK MATERIAL DYNAMIC PROPERTIES**

The article discusses a method for determining the measure of bulk material inertness, which is essential in the development and design of vibration sorting machines. The solution to this problem is based on the representation of the state of bulk material in the form of a superposition of its extreme states - complete immobility and maximum mobility. The functions of the state of the material and the experimental and analytical methods for their determination are considered. On the basis of the proposed methodology, the calculation of the dynamic parameters of bulk material for a specific example was made.

Superposition, boundary states, state functions, mobility, immobility, state variable, vibration frequency.



**В.А. Шорин, С.А. Мясникова**  
Вологодский государственный университет

## УЛУЧШЕНИЕ СВОЙСТВ БИТУМНОЙ ЭМУЛЬСИИ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ОБРАБОТКОЙ

В статье рассматривается влияние высокочастотной звуковой обработки на свойства битумной катионной эмульсии для повышения качества ремонта автомобильных дорог. За счет обработки ультразвуком при распаде эмульсии битум распределяется равномернее по поверхности каменного материала, что дает более качественное формирование контакта между щебнем и битумной эмульсией. Особое значение в этом плане приобретают технологии с использованием катионных битумных эмульсий, в частности струйно-инъекционный метод ямочного ремонта.

Ультразвуковая обработка, битумная эмульсия, ямочный ремонт, однородность эмульсии, устойчивость к хранению, вязкость.

В настоящее время особенно актуальным является поиск инновационных технологий для ямочного ремонта автомобильных дорог. Ямочный ремонт струйно-инъекционным способом с использованием эмульсионно-минеральной смеси на сегодняшний день – одна из перспективных дорожных технологий. Использование эмульсий взамен горячего битума позволяет расширить временной интервал укладки асфальта.

В плане решения данной задачи нами впервые проведено исследование влияния высокочастотной звуковой обработки на свойства битумной эмульсии. Была использована ультразвуковая установка, показанная на рисунке 1, представляющая собой реактор, стенки которого изготовлены из нержавеющей стали, с двумя излучателями, вмонтированными в него таким образом, что сами стенки становятся излучателями и обеспечивают равномерное кавитационное воздействие как на вязкие среды, так и на жидкие среды незначительной вязкости.



Рис. 1. Ультразвуковая установка

Материалы обзора научно-технической информации однозначно показали, что ультразвук использовался только лишь на битуме, на дисперсных системах, но не на битумных эмульсиях. Ультразвуковая обработка битума вызывает повышение его адгезионных свойств по сравнению с обычным битумом на 30–70 % и снижает его вязкость. Таким образом, обработка битумной эмульсии ультразвуком предполагает улучшение свойств битума в этой эмульсии, а также и свойств самой битумной эмульсии, таких как: однородность, устойчивость при хранении, условная вязкость.

Для исследования применяли катионную битумную эмульсию ЭБК-2.

Эмульсии исследовали до и после обработки ультразвуком. Однородность битумной эмульсии определялась остатком на сите. Результаты экспериментальных исследований приведены в таблице 1 и на рисунке 2.

Таблица 1

### Влияние ультразвука на однородность катионной битумной эмульсии

Тип эмульсии	Число кавитации	Время (мин)	t, °С	Остаток на сите, %
ЭБК-2	0	0	–	0,24
ЭБК-2	400–500	5	30–42	0,18
ЭБК-2	500–700	5	48–54	0,18

При обработке битумной эмульсии ультразвуком остаток на сите уменьшается, что говорит о том, что однородность повысилась. Оптимальное время обработки битумной эмульсии при числе кавитации 400–500 и температуре 30–42 °С – 5 минут. При этом остаток на сите озвученной эмульсии (0,18 %) по сравнению с исходной эмульсией (0,24 %) уменьшился на 0,06 %, эмульсия стала однородней по своему составу, ее качество повысилось. Эмульсии должны быть однородными согласно [1].

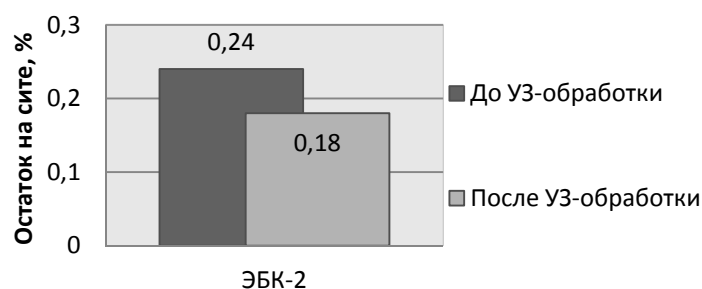


Рис. 2. Влияние ультразвука на однородность катионной эмульсии

Таблица 2

### Влияние ультразвука на катионную битумную эмульсию

Тип эмульсии	Число кавитации	Время (мин)	t, °С	Устойчивость при хранении, % (через 3 мес.)
ЭБК-2	0	0	–	0,5
ЭБК-2	400–500	5	30–42	0,24
ЭБК-2	500–700	5	48–54	0,27

Таблица 3

### Влияние ультразвука на условную вязкость катионной битумной эмульсии

Тип эмульсии	Число кавитации	Время (мин)	t, °С	Условная вязкость, с
ЭБК-2	0	0	–	24
ЭБК-2	600–700	2	28–30	15
ЭБК-2	400–500	5	30–42	15–17

Устойчивость при хранении – это способность эмульсии сопротивляться расслоению (не разделяться на битум и воду). Сущность определения устойчивости при хранении заключается в определении остатка на сите с сеткой № 014 после процеживания через него эмульсии, хранившейся при комнатной температуре в течение 7 и 30 суток. Чем меньше остаток на сите, тем устойчивее при хранении дольше.

Результаты экспериментальных исследований в таблице 2.

При обработке битумной эмульсии ультразвуком через 3 месяца остаток на сите уменьшается, что говорит о том, что устойчивость при хранении обработанной ультразвуком битумной эмульсии повысилась по сравнению с исходной.

Оптимальное время обработки битумной эмульсии при числе кавитации 400–500 и температуре 30–42 °С – 5 минут. При этом остаток на сите эмульсии, обработанной ультразвуком (0,24 %) по сравнению с исходной эмульсией (0,5 %) уменьшился на 0,26 %. Эмульсия не расслаивается в течение трех месяцев. Качество эмульсии повысилось.

Сущность определения условной вязкости заключается в определении времени истечения 50 мл эмульсии из вискозиметра через сточное отверстие диаметром 3 мм. Низкая вязкость битумной эмульсии обеспечивает хорошую способность обработки каменных материалов без их сушки и нагрева [2].

Результаты эксперимента представлены в таблице 3.

При обработке битумной эмульсии ультразвуком условная вязкость уменьшается на 37,5 %. Оптимальное время обработки битумной эмульсии при числе кавитации 600–700 и температуре 28–30 °С – 2 минуты. Эмульсия стала менее вязкой, в связи с чем стано-

вится возможным использовать ее с меньшим нагревом, трубопровод БЦМ-24 забивается меньше.

1. При обработке битумной эмульсии ультразвуком повышается ее однородность (остаток на сите уменьшился на 25 %). При взаимодействии с каменным материалом битумная эмульсия, обработанная ультразвуком, распадается. При распаде битум распределяется равномернее по поверхности щебня за счет повышения однородности эмульсии. Следовательно, в ямочном ремонте при обработке каменного материала озвученной битумной эмульсией происходит более качественное формирование контакта между щебнем и эмульсией.

2. При обработке битумной эмульсии ультразвуком повышается устойчивость при хранении в 2 раза. Следовательно, допускается более длительное ее хранение. Это удобно для таких районов, где нет собственной базы производства битумной эмульсии, т.к. уменьшаются затраты на транспортировку.

3. Особые перспективы в улучшение качества ямочного ремонта открывает обработанная ультразвуком битумная эмульсия ЭБК-2, т.к. происходит уменьшение ее вязкости в 1,6 раза, а при уменьшении вязкости эмульсия становится более подвижной, лучше обволакивает зерна каменного материала, что хорошо для доменных или сталеплавильных шлаков с их особенно развитой шероховатой поверхностью.

4. В совокупности все три характеристики битумной эмульсии (однородность, устойчивость при хранении, условная вязкость), полученные в результате ультразвуковой обработки, повышают качество ямочного ремонта автомобильных дорог струйно-инъекционным методом.

### Литература

1. Пособие по приготовлению и применению битумных дорожных эмульсий (к СНиП 3.06.03-85) / СоюздорНИИ. – Москва : Стройиздат, 1989. – 56 с.

2. Будник, В. А. Битумные эмульсии. Особенности состава и применения. Тематический обзор / В. А. Будник, Н. Г. Евдокимова, Б. С. Жирнов. – Текст : электронный // Нефтегазовое дело: электронный научный журнал. – 2006. – № 1. – URL: [http://ogbus.ru/authors/Budnik/Budnik\\_1.pdf](http://ogbus.ru/authors/Budnik/Budnik_1.pdf) (дата обращения: 10.06.2021).

3. ГОСТ Р 55420-2013. Дороги автомобильные общего пользования. Эмульсии битумные дорожные катионные : издание официальное : утвержден и введен в действие приказом Росстандарта от 08.05.2013 № 92-ст : дата введения 09.01.2013. – Текст : электронный // Техэксперт : информационно-справочная система / Консорциум «Кодекс» (дата обращения: 14.05.2020). – Режим доступа: для авториз. пользователей.

*V.A. Shorin, S.A. Myasnikova*  
*Vologda State University*

### IMPROVING PROPERTIES OF BITUMEN EMULSION WITH ULTRASOUND TREATMENT

The article examines the impact of high-frequency sound processing on the properties of the bitumen cation emulsion to improve the quality of road repairs. Due to the ultrasonic treatment at the breakdown of the emulsion bitumen is distributed more evenly on the surface of the stone material, which gives a better formation of contact between the rubble and bitumen emulsion. Technology using cation bitumen emulsions in particular the injectable-inision method of pit repair is of particular importance in this regard.

Ultrasonic treatment, bitumen emulsion, pit repair, emulsion homogeneity, storage resistance, viscosity.

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

### **Бакунина Анна Николаевна**

обучающийся Инженерно-технического института Череповецкого государственного университета (Череповец, Россия)  
anbakunina@chsu.ru

### **Белянина Анна Юрьевна**

кандидат технических наук, доцент кафедры математики и информатики Вологодского государственного университета (Вологда, Россия)  
belianinaaiu@vogu35.ru

### **Бормосов Николай Александрович**

кандидат технических наук, доцент кафедры автомобилей и автомобильного хозяйства Вологодского государственного университета (Вологда, Россия)  
bormosovna@vogu35.ru

### **Иванова Анастасия Владимировна**

старший преподаватель кафедры промышленного и гражданского строительства Вологодского государственного университета (Вологда, Россия)  
pgs@vogu35.ru

### **Казакова Ирина Сергеевна**

кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры промышленного и гражданского строительства Вологодского государственного университета (Вологда, Россия)  
kazakova.is@yandex.ru

### **Каптюшина Алла Германовна**

кандидат технических наук, доцент, зав. кафедрой строительства им. почетного профессора ЧГУ, доктора технических наук В.С. Грызлова Инженерно-технического института Череповецкого государственного университета (Череповец, Россия)  
agkaptiushina@chsu.ru

### **Колпаков Валерий Николаевич**

кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры технологии машиностроения Вологодского государственного университета (Вологда, Россия)  
valery.kolpakov-vn2016@yandex.ru

### **Комиссарова Ирина Игоревна**

кандидат технических наук, доцент кафедры автомобильных дорог Вологодского государственного университета (Вологда, Россия)  
irigkom@mail.ru

### **Кононов Илья Станиславович**

аспирант кафедры строительства им. почетного профессора ЧГУ, доктора технических наук В.С. Грызлова Инженерно-технического института Череповецкого государственного университета (Череповец, Россия)  
iskononov@chsu.ru

### **Копыльцов Александр Вячеславович**

обучающийся Инженерно-технического института Череповецкого государственного университета (Череповец, Россия)  
al3k5ander@yandex.ru

**Кочкарева Татьяна Александровна**

кандидат технических наук, доцент кафедры математики и информатики Вологодского государственного университета (Вологда, Россия)  
tsk35@mail.ru

**Кочкин Александр Александрович**

доктор технических наук, доцент, зав. кафедрой промышленного и гражданского строительства Вологодского государственного университета (Вологда, Россия)  
pgs@vogu35.ru

**Кузьмин Александр Григорьевич**

доктор медицинских наук, профессор, зав. кафедрой биомедицинской техники Вологодского государственного университета (Вологда, Россия)  
bmt@vogu35.ru

**Мясникова Светлана Александровна**

кандидат технических наук, доцент кафедры автомобильных дорог Вологодского государственного университета (Вологда, Россия)  
lana-m-11@mail.ru

**Никитин Леонид Алексеевич**

кандидат технических наук, доцент, ведущий научный сотрудник Вологодского научного центра Российской академии наук (Вологда, Россия)  
sznii@list.ru

**Никифоров Владислав Евгеньевич**

старший преподаватель кафедры электрооборудования Вологодского государственного университета (Вологда, Россия)  
eo@vogu35.ru

**Ногтев Дмитрий Николаевич**

обучающийся Института математики, естественных и компьютерных наук Вологодского государственного университета (Вологда, Россия)  
dmitry.nogtev@mail

**Павлушков Игорь Валерьевич**

обучающийся Инженерно-технического института Череповецкого государственного университета (Череповец, Россия)  
igor-pavlushkov@yandex.ru

**Поварова Ольга Александровна**

старший преподаватель кафедры строительства Инженерно-технического института Череповецкого государственного университета (Череповец, Россия)  
boliaa@mail.ru

**Полуэктова Надежда Андреевна**

обучающийся Инженерно-технического института Череповецкого государственного университета (Череповец, Россия)  
Kagura.tian17@yandex.ru

**Поляков Тимофей Александрович**

обучающийся Инженерно-технического института Череповецкого государственного университета (Череповец, Россия)  
polyackov.t@yandex.ru

**Полянский Андрей Михайлович**

кандидат технических наук, доцент кафедры автоматике и вычислительной техники Вологодского государственного университета (Вологда, Россия)  
ampol@yandex.ru

**Попов Игорь Павлович**

старший преподаватель кафедры технологии машиностроения, металлорежущих станков и инструментов Курганского государственного университета (Курган, Россия)  
ip.popow@yandex.ru

**Сапиев Азамат Заурбиевич**

кандидат экономических наук, доцент, доцент кафедры информационной безопасности и прикладной информатики Майкопского государственного технологического университета (Майкоп, Адыгея)  
sapiew@yandex.ru

**Суконщиков Алексей Александрович**

кандидат технических наук, доцент, зав. кафедрой автоматике и вычислительной техники Вологодского государственного университета (Вологда, Россия)  
avt@vogu35.ru

**Умаров Максуджон Файзулович**

доктор физико-математических наук, профессор, профессор кафедры биомедицинской техники Вологодского государственного университета (Вологда, Россия)  
umma54@rambler.ru

**Чертовской Владимир Дмитриевич**

доктор технических наук, профессор, профессор кафедры информационных систем Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета «ЛЭТИ» имени В.И. Ульянова (Ленина) (Россия, Санкт-Петербург)  
vdchertows@mail.ru

**Чукалова Дарья Александровна**

обучающийся Института математики, естественных и компьютерных наук Вологодского государственного университета (Вологда, Россия)  
dulsineya-ch@mail.ru

**Швецов Анатолий Николаевич**

доктор технических наук, профессор, профессор кафедры информатики и информационных технологий Вологодского государственного университета (Вологда, Россия)  
smithv@mail.ru

**Шорин Владимир Александрович**

доктор химических наук, профессор, зав. кафедрой автомобильных дорог Вологодского государственного университета (Вологда, Россия)  
ad@vogu35.ru

**Яняк Сергей Владимирович**

кандидат технических наук, доцент кафедры технологии машиностроения Вологодского государственного университета (Вологда, Россия)  
tms@vogu35.ru

## INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

### **Bakunina Anna Nikolaevna**

Student of Engineering and Technical Institute of Cherepovets State University (Cherepovets, Russia)  
anbakunina@chsu.ru

### **Belyanina Anna Yurievna**

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Mathematics and Information Technology, Vologda State University (Vologda, Russia)  
belianinaaiu@vogu35.ru

### **Bormosov Nikolay Alexandrovich**

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Automobiles and Automobile Economy, Vologda State University (Vologda, Russia)  
bormosovna@vogu35.ru

### **Ivanova Anastasia Vladimirovna**

Senior Lecturer, Department of Industrial and Civil Construction, Vologda State University (Vologda, Russia)  
pgs@vogu35.ru

### **Kazakova Irina Sergeevna**

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Industrial and Civil Construction, Vologda State University (Vologda, Russia)  
kazakova.is@yandex.ru

### **Kaptyushina Alla Germanovna**

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Construction, Honorary Professor of ChSU, Doctor of Technical Sciences in V.S. Gryzlov Institute of Engineering and Technology, Cherepovets State University (Cherepovets, Russia)  
agkaptiushina@chsu.ru

### **Kolpakov Valery Nikolaevich**

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Mechanical Engineering Technology, Vologda State University (Vologda, Russia)  
valery.kolpakov-vn2016@yandex.ru

### **Komissarova Irina Igorevna**

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Highways, Vologda State University (Vologda, Russia)  
irigkom@mail.ru

### **Kononov Ilya Stanislavovich**

Postgraduate student of the Department of Construction named after Honorary Professor of ChGU, Doctor of Technical Sciences V.S. Gryzlov Institute of Engineering and Technology, Cherepovets State University (Cherepovets, Russia)  
iskononov@chsu.ru

### **Kopyltsov Alexander Vyacheslavovich**

Student of the Engineering and Technical Institute of the Cherepovets State University (Cherepovets, Russia)  
al3k5ander@yandex.ru

### **Kochkareva Tatiana Alexandrovna**

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Mathematics and Informatics, Vologda State University (Vologda, Russia)  
tsk35@mail.ru

**Kochkin Alexander Alexandrovich**

Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Industrial and Civil Construction, Vologda State University (Vologda, Russia)  
pgs@vogu35.ru

**Kuzmin Alexander Grigorievich**

Doctor of Medical Sciences, Professor, Head of the Department of Biomedical Engineering, Vologda State University (Vologda, Russia)  
bmt@vogu35.ru

**Myasnikova Svetlana Alexandrovna**

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Highways, Vologda State University (Vologda, Russia)  
lana-m-11@mail.ru

**Nikitin Leonid Alekseevich**

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Leading Researcher at the Vologda Scientific Center of the Russian Academy of Sciences (Vologda, Russia)  
sznii@list.ru

**Nikiforov Vladislav Evgenievich**

Senior Lecturer, Department of Electrical Equipment, Vologda State University (Vologda, Russia)  
eo@vogu35.ru

**Nogtev Dmitry Nikolaevich**

Student of the Institute of Mathematics, Natural and Computer Sciences, Vologda State University (Vologda, Russia)  
dmitry.nogtev@mail

**Pavlushkov Igor Valerievich**

Student of Engineering and Technical Institute of Cherepovets State University (Cherepovets, Russia)  
igor-pavlushkov@yandex.ru

**Povarova Olga Alexandrovna**

Senior Lecturer, the Department of Construction, Engineering and Technical Institute, Cherepovets State University (Cherepovets, Russia)  
boliaa@mail.ru

**Poluektova Nadezhda Andreevna**

Student of Engineering and Technical Institute of Cherepovets State University (Cherepovets, Russia)  
Kagura.tian17@yandex.ru

**Polyakov Timofey Alexandrovich**

Student of Engineering and Technical Institute of Cherepovets State University (Cherepovets, Russia)  
polyackov.t@yandex.ru

**Polyansky Andrey Mikhailovich**

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Automation and Computer Engineering, Vologda State University (Vologda, Russia)  
ampol@yandex.ru

**Popov Igor Pavlovich**

Senior Lecturer, the Department of Mechanical Engineering Technology, Metal-Cutting Machine Tools and Tools, Kurgan State University (Kurgan, Russia)  
ip.popov@yandex.ru

**Sapiev Azamat Zaurbievich**

Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Information Security and Applied Informatics, Maikop State Technological University (Maikop, Adygea)  
sapiew@yandex.ru

**Sukonshchikov Alexey Alexandrovich**

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Automation and Computer Engineering, Vologda State University (Vologda, Russia)  
avt@vogu35.ru

**Umarov Maksudjon Faizuloevich**

Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Professor of the Department of Biomedical Technology, Vologda State University (Vologda, Russia)  
umma54@rambler.ru

**Chertovskoy Vladimir Dmitrievich**

Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Information Systems of St. Petersburg State Electrotechnical University "LETI" named after V. I. Ulyanova (Lenina) (Russia, St. Petersburg)  
vdchertows@mail.ru

**Chukalova Daria Alexandrovna**

Student of the Institute of Mathematics, Natural and Computer Sciences, Vologda State University (Vologda, Russia)  
dulsineya-ch@mail.ru

**Shvetsov Anatoly Nikolaevich**

Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Informatics and Information Technologies, Vologda State University (Vologda, Russia)  
smithv@mail.ru

**Shorin Vladimir Alexandrovich**

Doctor of Chemistry, Professor, Head of the Department of Highways, Vologda State University (Vologda, Russia)  
ad@vogu35.ru

**Yanyak Sergey Vladimirovich**

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Mechanical Engineering Technology, Vologda State University (Vologda, Russia)  
tms@vogu35.ru

*Научное издание*

ВЕСТНИК ВОЛОГОДСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА

Серия: Технические науки  
№ 2 (12) / 2021

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 25.06.2021. Выпуск в свет 30.06.2021. Формат 60 × 84/8  
Уч.-изд. л. 9,8. Усл. печ. л. 10,75. Тираж 74 экз. Заказ № 625. Цена свободная

---

ФГБОУ ВО «Вологодский государственный университет»  
160000, Вологодская область, город Вологда, улица Ленина, дом 15

Отпечатано: ООО «Издательство «Сад-огород», г. Вологда, ул. Текстильщиков, 20а  
тел.: 8(8172) 73-12-22; e-mail: vologdapost@yandex.ru