

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
БЕЛГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
им. В.Г. ШУХОВА

НАУЧНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ
ВЕСТНИК
БГТУ им. В.Г. ШУХОВА

№ 3, 2018 год

Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова

Главный редактор: д-р техн. наук, проф. Е.И. Евтушенко

Зам. главного редактора: канд. техн. наук, доц. Н.И. Алфимова

Редакционная коллегия:

Айзенштадт А.М., д-р хим. наук, проф.;

Баженов Ю.М., академик РААСН, д-р техн. наук, проф.;

Богданов В.С., д-р техн. наук, проф.; Благоевич Деян, PhD, проф.;

Большаков А.Г., д-р арх., проф.; Борисов И.Н., д-р техн. наук, проф.;

Братан С.М., д-р техн. наук, проф.; Везенцев А.И., д-р техн. наук, проф.;

Глаголев С.Н., д-р экон. наук, проф.; Грабовый П.Г., д-р экон. наук, проф.;

Гридчин А.М., д-р техн. наук, проф.; Давидюк А.Н., д-р техн. наук;

Дорошенко Ю.А., д-р экон. наук, проф.; Дуюн Т.А., д-р техн. наук, проф.;

Ерофеев В.Т., академик РААСН, д-р техн. наук, проф.; Зайцев О.Н., д-р техн. наук, проф.;

Ильвицкая С.В., д-р арх., проф.; Козлов А.М., д-р техн. наук, проф.;

Леонович С.Н., иностранный член академик РААСН, д-р техн. наук, проф.;

Лесовик В.С., член-корреспондент РААСН, д-р техн. наук, проф.;

Логачев К.И., д-р техн. наук, проф.; Мещерин В.С., д-р техн. наук, проф.;

Меркулов С.И., член-корреспондент РААСН, д-р техн. наук, проф.;

Павленко В.И., д-р техн. наук, проф.; Павлович Ненад, PhD;

Пивинский Ю.Е., д-р техн. наук, проф.; Потапов Е.Э., д-р хим. наук, проф.;

Рыбак Л.А., д-р техн. наук, проф.; Савин Л.А., д-р техн. наук, проф.;

Семенцов С.В. д-р арх., проф.; Сиваченко Л.А., д-р техн. наук, проф.; Соболев К.Г., PhD, доц.;

Смоляго Г.А., д-р техн. наук, проф.; Строкова В.В., проф. РАН, д-р техн. наук, проф.;

Тарасова Е.Е., д-р экон. наук, проф.; Уваров В.А., д-р техн. наук, проф.;

Фишер Ханс-Бертрам, н. с.; Ханин С.И., д-р техн. наук, проф.;

Шаповалов Н.А., д-р техн. наук, проф.; Шубенков М.В., академик РААСН, д-р арх., проф.;

Юрьев А.Г. д-р техн. наук, проф.; Яцун С.Ф., д-р техн. наук, проф.

Научно-теоретический журнал «Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова» включен в перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата, на соискание ученой степени доктора наук по группам научных специальностей: 05.02.00 – машиностроение и машиноведение; 05.17.00 – химическая технология; 05.23.00 – строительство и архитектура; 08.00.00 – экономические науки.

Белгородский государственный
технологический университет
(БГТУ) им. В.Г. Шухова, 2018

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

Попов А.Л., Нелюбова В.В., Нецвет Д.Д. ВЛИЯНИЕ ПРИРОДЫ ПЕНООБРАЗОВАТЕЛЕЙ НА ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПЕН	5
Логанина В.И., Мажитов Е.Б. ИССЛЕДОВАНИЕ МЕЖФАЗНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В ЗОЛЬСИЛИКАТНЫХ КРАСКАХ	13
Рахимбаев Ш.М., Толыпина Н.М., Хахалева Е.Н., Толыпин Д.А. ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ВЫБОРА ТИПА ЦЕМЕНТА ДЛЯ ИЗДЕЛИЙ, ЭКСПЛУАТИРУЮЩИХСЯ В АГРЕССИВНЫХ СРЕДАХ	18
Рыбникова И.А., Рыбников А.М. АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ НАТУРНЫХ ИСПЫТАНИЙ БУРОНАБИВНЫХ КОНИЧЕСКИХ СВАЙ НА ДЕЙСТВИЕ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ НАГРУЗОК	24
Радайкин О.В. К ОПРЕДЕЛЕНИЮ МОМЕНТА ТРЕЩИНООБРАЗОВАНИЯ ИЗГИБАЕМЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ С УЧЁТОМ ПЛАСТИЧЕСКИХ ДЕФОРМАЦИЙ БЕТОНА РАСТЯНУТОЙ ЗОНЫ	30
Абдразаков Ф.К., Поваров А.В. ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИЧИН ПЕРЕУВЛАЖНЕНИЯ УТЕПЛЕННЫХ ФАСАДОВ МНОГОКВАРТИРНЫХ ДОМОВ г. САРАТОВА	39
Попов Е.Н. ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЖЕКТИРУЮЩИХ СВОЙСТВ ПОТОКА ПОЛИФРАКЦИОННОГО СЫПУЧЕГО МАТЕРИАЛА	46
Семиненко А.С. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УСЛОВИЙ РЕАЛИЗАЦИИ КОАНДОВСКИХ ТЕЧЕНИЙ	52
Дмитриев А.С., Евстигнеев В.Д. ТРАНСПОРТНО-ПЕРЕСАДОЧНЫЕ УЗЛЫ, ПРОБЛЕМЫ ОРГАНИЗАЦИИ ДВИЖЕНИЯ ЛЮДСКИХ ПОТОКОВ	60
Колесникова Л.И., Семенцов С.В. БЕЛГОРОДСКИЕ ГОРОДСКИЕ УСАДЬБЫ XVIII в.	65
Горожанкин В.К. АРТ-МОРФОЛОГИЯ АРХИТЕКТУРНОЙ ЭСПОЗИЦИИ	69

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

Изотова И.А., Бондаренко Н.И., Борисов И.Н., Клименко В.Г., Слабинская И.А. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПЛАЗМЕННОЙ ОБРАБОТКИ НА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА КОМПОЗИЦИОННЫХ СТЕКЛОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ	75
Котлярова И.А., Степина И.В. КИНЕТИКА НАБУХАНИЯ ДРЕВЕСИНЫ СОСНЫ, МОДИФИЦИРОВАННОЙ АМИНБОРАТАМИ	81

МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

Ворочаева Л.Ю., Савин С.И. КЛАССИФИКАЦИОННЫЕ ПРИЗНАКИ РОБОТОВ, ПЕРЕМещаЮЩИХСЯ ПО ТРУБАМ	89
Вердиян М.А., Богданов В.С., Тынников И.М., Александрова Е.Б., Герасименко В.Б. РАСЧЕТЫ КРИТЕРИЯ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ ЦЕМЕНТНЫХ ЗАВОДОВ	101
Севостьянов В.С., Сиваченко Т.Л., Севостьянов М.В., Горягин П.Ю., Бабуков В.А. НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СОЗДАНИЯ ИГЛОФРЕЗЕРНЫХ ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЕЙ МНОГОЦЕЛЕВОГО НАЗНАЧЕНИЯ	107
Макаров А.Н. СТАТИСТИЧЕСКАЯ ЗНАЧИМОСТЬ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПРОЦЕССА С ПОМОЩЬЮ ИСКУССТВЕННОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ	117

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Парфенова Е.Н., Авилова Ж.Н. К ВОПРОСУ О ПОВЫШЕНИИ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЙ МАШИНОСТРОЕНИЯ	124
Князева Е.С. ПРИВЛЕЧЕНИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИНВЕСТИЦИЙ В ОРГАНИЗАЦИЮ СТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА	129
Карамышев А.Н. АНАЛИЗ ПРОБЛЕМ ПРОЦЕССНОГО УПРАВЛЕНИЯ КРУПНЫМИ ПРОМЫШЛЕННЫМИ ПРЕДПРИЯТИЯМИ	139

CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE

A.L. Popov, V.V. Nelyubova, D.D. Netsvet THE INFLUENCE OF THE FOAMING AGENTS NATURE ON PHYSICAL AND TECHNICAL PROPERTIES OF FOAM	5
V.I. Loganina, E.B. Mazhitov THE RESEARCH OF INTER-PHASE INTERACTION IN SOL-SILICATE PAINTS	13
Sh.M. Rakhimbaev, N.M. Tolypina, E.N. Hahaleva, D.A. Tolypin OPTIMIZATION OF CEMENT TYPE SELECTION PROCESS FOR PRODUCTS IN AGGRESSIVE ENVIRONMENTS	18
I.A. Rybnikova, A.M. Rybnikov ANALYSIS OF THE FIELD TESTS RESULTS OF BORED CONICAL PILES UNDER THE ACTION OF VARIOUS TYPES OF LOADS	24
O.V. Radaikin TO DETERMINATION OF THE CRACKING MOMENT FOR BENDING REINFORCED CONCRETE ELEMENTS WITH ACCOUNT OF PLASTIC DEFORMATIONS OF CONCRETE IN THE TENSION AREA	30
F.K. Abdrazakov, A.V. Povarov RESEARCH OF THE REASONS FOR EXCESSIVE MOISTENING OF HEAT-INSULATED FACADES OF MULTICOMPARTMENT BUILDINGS IN SARATOV	39
E.N. Popov RESEARCH OF THE EJECTING PROPERTIES OF A POLYFRACTION BULK MATERIAL FLOW	46
A.S. Seminenko EXPERIMENTAL UNITS FOR DETERMINING THE CONDITIONS OF IMPLEMENTING COANDA AIR JETS	52
A.S. Dmitriyev, V.D. Yevstigneyev TRANSPORT INTERCHANGE HUBS AND PROBLEMS OF HUMAN FLOWS TRAFFIC ORGANIZATION	60
L.I. Kolesnikova, S.V. Sementsov BELGOROD CITY MANSIONS OF THE XVIII CENTURY	65
V.K. Gorozhankin ART AS THE MORPHOLOGY OF ARCHITECTURAL EXPOSITION	69

CHEMICAL TECHNOLOGY

I.A. Izotova, N.I. Bondarenko, I.N. Borisov, V.G. Klimenko, I.A. Slabinskij RESEARCH OF THE EFFECT OF PLASMA TREATMENT ON THE OPERATIONAL PROPERTIES OF COMPOSITE GLASS-CERAMIC MATERIALS	75
I.A. Kotlyarova, I.V. Stepina RESEARCH OF THE SWELLING KINETICS OF PINE WOOD, MODIFIED WITH AMINO-BORATES	81

MACHINE BUILDING AND ENGINEERING SCIENCE

L.Yu. Vorochaeva, S.I. Savin CRITERIA FOR CLASSIFICATION OF IN-PIPE ROBOTS	89
M.A. Verdiyev, V.S. Bogdanov, I.M. Tynnikov, E.B. Alexandrova, V.B. Gerasimenko CALCULATION OF THE COMPETITIVE ABILITY CRITERIA OF CEMENT PLANTS	101
V.S. Sevostyanov, T.L. Sivachenko, M.V. Sevostyanov, P.Y. Goryagin, V.A. Babukov SCIENTIFIC AND PRACTICAL FOUNDATIONS OF THE CREATION OF MULTI-PURPOSE NEEDLE-MILLING SHREDDERS	107
A.N. Makarov STATISTICAL SIGNIFICANCE OF PREDICTING THE PRODUCTION PROCESS RESULTS BY MEANS OF AN ARTIFICIAL NEURAL NETWORK	117

ECONOMIC SCIENCE

E.N. Parfenova, Z.N. Avilova TO THE QUESTION OF INCREASING THE COMPETITIVENESS OF MACHINE-BUILDING ENTERPRISES	124
E.S. Knyazeva ATTRACTION AND IMPLEMENTATION OF INVESTMENTS IN BUILDING PRODUCTION'S ORGANIZATION	129
A.N. Karamyshev ANALYSIS OF THE PROBLEMS OF LARGE INDUSTRIAL ENTERPRISES PROCESS-BASED MANAGEMENT	139

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

DOI: 10.12737/article_5abfc9b7ce94e3.70688983

Попов А.Л., аспирант,
Нелюбова В.В., канд. техн. наук, доц.,
Нецвет Д.Д., аспирант

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

ВЛИЯНИЕ ПРИРОДЫ ПЕНООБРАЗОВАТЕЛЕЙ НА ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПЕН

nelybova.vv@bstu.ru

В работе рассматривается влияние природы пенообразователя на свойства пен. На основании анализа рынка современных поризующих добавок выбраны традиционные широко применяемые, а также новые пенообразователи. Проведен обзор технических характеристик выбранных добавок. В статье исследовано влияние концентрации, состава и основы пенообразователей на кратность, стойкость и плотность пен. Определены оптимальные («рабочие») концентрации пенообразующих добавок с учетом их стойкости. Изучена стойкость сформированных на базе рабочих растворов пен в поризуемых системах различного состава. На основании комплекса проведенных исследований протеиновые пенообразователи проранжированы по степени эффективности, оцененной по физико-техническим свойствам пен, полученных с их использованием.

Ключевые слова: пенообразователь, пена, ячеистый бетон, стойкость, кратность, плотность.

Введение. Не вызывает сомнения актуальность получения материалов, отличающихся пониженным коэффициентом теплопроводности и относительно высокими физико-механическими свойствами. Ячеистые материалы на минеральном сырье наиболее полно соответствуют данным критериям по своим эксплуатационным характеристикам. Анализ работ в области получения ячеистых бетонов, позволяет сделать вывод, что одним из основных факторов качества пенобетонов в числе прочих является пена [1–15]. Пена для пенобетонов – это высококонцентрированная дисперсная система с газовой дисперсной фазой и жидкой дисперсионной средой. Её формирование возможно лишь в присутствии пенообразователя.

На сегодня существует множество разновидностей и марок пенообразователей, имеющих свои достоинства и недостатки [6–9]. Выбор пенообразователя для приготовления пенобетона должен исходить из множества технологических признаков, которые способны влиять на получаемую пену и композит: плотность, кратность, стойкость, стойкость в поризуемом растворе. В свою очередь данные признаки зависят от природы пенообразователей и их свойств. В работе предлагается рассмотрение влияния природы и свойств пенообразователей на свойства пен и их устойчивость в растворах вяжущих минеральных систем.

Методология. Основными характеристиками пенообразователей являются кратность,

стойкость во времени и стойкость в поризуемом растворе.

Кратность пены определяется значением отношения объема полученной пены к объему использованного для её формирования раствора пенообразователя:

$$K = \frac{V_{\text{п}}}{V_{\text{по}}}, \quad (1)$$

где $V_{\text{п}}$ – объем полученной пены, л; $V_{\text{по}}$ – объем раствора пенообразователя из которого была получена пена, л.

Стойкость пены определяется временем, в течение которого не происходит осадения столба пены. Однако, с учетом различной природы пенообразователей, для чистоты эксперимента, стойкость пены оценивалась временем выделения из пены жидкости в количестве 50 % от использованного для её формирования раствора пенообразователя.

Кроме выше обозначенных показателей, стойкость пены определяется коэффициентами стойкости по синерезису ($K_{\text{с}}^{\text{п}}$) и объему ($K_{\text{в}}^{\text{с}}$), характеризующие процессы водоотделения:

$$K_{\text{с}}^{\text{п}} = 1 - \frac{M_{\text{с}}}{\rho_{\text{п}}}, \quad (2)$$

$$K_{\text{в}}^{\text{с}} = 1 - \frac{V_{\text{н}} - V_{\text{т}}}{V_{\text{н}}}, \quad (3)$$

где $M_{\text{с}}$ – масса синерезиса 1 л пены (количество выделившейся воды), г; $\rho_{\text{п}}$ – плотность пены, г/л; $V_{\text{т}}$ – изменяемый во времени объем пены, л; $V_{\text{н}}$ – начальный объем пены, л.

Физический смысл явления синерезиса состоит в стекании избыточной жидкости из плёнок пены в места их стыков и последующем вытекании под действием гравитации в нижние слои пены. Таким образом, утончение плёнок приводит к коалесценции пузырьков пены. Итогом указанного процесса становится снижение устойчивости пены и сокращение времени ее «жизни».

Стойкость пены в поризованном растворе рассчитывается отношением объема полученной пеносмеси к сумме исходных объемов пены и цементного раствора в раздельности:

$$C_{\text{пт}}^{\text{п}} = \frac{V_{\text{пт}}^{\text{пор}}}{V_{\text{пт}} + V_{\text{пен}}}, \quad (4)$$

где $V_{\text{пт}}^{\text{пор}}$ – объем полученного поризованного теста, л; $V_{\text{пт}}$ – объем цементного теста, л; $V_{\text{пен}}$ – объем пены, л.

Определение данного показателя осуществляется по следующей методике. Для формирования 1 л поризованной смеси в равных количествах смешивается цементное тесто с В/Ц=0,4 и пена. Далее производится перемешивание смеси

в течение 1 минуты и замер высоты ее столба. После по формуле 1 рассчитывается значение стойкости пены в поризованном растворе. Пену следует считать удовлетворительной, если значение $C_{\text{пт}}^{\text{п}}=0,8-0,85$, качественной – если $C_{\text{пт}}^{\text{п}} > 0,95$.

В качестве растворов применяли портландцементный раствор и наноструктурированное вяжущее (НВ) различного состава (из гранита и песка). Определение стойкости осуществлялось при естественной влажности приготовленных НВ. В работе использовались синтетические пенообразователи (ПО) – Пеностром и ПБ–Люкс, протеиновые – Reniment SB31L, FoamIn, Foamcem, Эталон и GreenFroth. Последний ПО имеет разновидности:

– GreenFroth классический, получаемый из животного белка;

– GreenFroth V, производимый из растительного белка.

Основные технические характеристики пенообразователей, указанные производителями, приведены в таблице 1.

Таблица 1

Технические характеристики пенообразователей

Название ПО	Тип	Плотность, кг/м ³	Водородный показатель pH	Вязкость при 20 °С, сСт
Пеностром	Анионного типа на основе сульфатов	1020–1090	8,7 ± 1,3	40 ± 5
ПБ Люкс	Анионного типа на основе сульфатов	1040–1100	9,2 ± 1,3	25 ± 5
Reniment SB31L	Гидролизат белков	1100–1140	7 ± 0,5	17 ± 5
FoamIn	Гидролизат белков	1080–1120	7,0 ± 1,0	10 ± 5
GreenFroth	Гидролизат белков	1130–1170	6,7 ± 0,3	10 ± 5
GreenFroth V	Растительный белок	1000–1040	6,7 ± 0,3	10 ± 5

Пены получали путем перемешивания водного раствора пенообразователя в концентрациях, рекомендованных производителями. Перемешивание проводилось с использованием лабораторной верхнеприводной мешалки RW16 в течение 5 минут, до формирования стойкой однородной пены.

Основная часть. Согласно результатам, белковые пенообразователи характеризуются повышением кратности с увеличением концентрации ПО. Синтетические ПО имеют пик мицеллообразования, после которого кратность начинает снижаться (рис. 1).

Плотность пены является основной характеристикой, которая оказывает непосредственное влияние на плотность готового изделия. На основе практического опыта выяснено, что необходимо применять пену с плотностью 0,05–0,07 г/см³, хотя данный параметр выбирается с точки зрения проектируемой плотности конечного материала.

Согласно полученным данным, увеличение концентрации протеиновых пенообразователей в растворе приводит к снижению плотности пены, что, очевидно, связано с увеличением объема сформированной пены (рис. 2, а). При этом оптимальной плотности соответствует максимальная кратность пен.

В случае синтетических добавок увеличение концентрации рабочего раствора практически не изменяет плотность пены по отношению к начальному значению при минимальной концентрации (рис. 2, б). Однако, при использовании Пенострома в малых концентрациях отмечается высокая плотность пены, которая снижается более чем на 30 % уже при концентрации раствора равной 1 %.

Наилучшей стойкостью характеризуются пенообразователи Reniment SB31L и GreenFroth классический. При этом растительный гидролизат GreenFroth V обладает самой низкой стойкостью

среди белковых пенообразователей сопоставимой с синтетическими пенообразователями (рис. 3).

С учетом вышеописанного определены оптимальные дозировки ПО, после которых увеличение дозировки становится не эффективным с технической и экономической точки зрения: Reniment SB31L – 6 %, GreenFroth V – 5 %, GreenFroth классический – 4 %, Foamin – 2 %, ПБ-Люкс – 2 %, Пеностром – 1 %.

Исследование эффекта синерезиса (рис. 4) разделило пены на две группы. Первая группа пен – Greenfroth, Reniment, Foamin – характеризуются стойкой пеной в первые 15–20 минут, затем начинается медленное водоотделение.

Наибольшей стойкостью обладает пена на основе гидролизата животного белка марки Greenfroth.

Вторая группа пен: Пеностром, ПБлюкс, Greenfroth V отличаются падением стойкости в первые 10 минут. Прогнозируемо в эту группу попали пены на основе синтетических пенообразователей, а также выяснилось, что пены на основе гидролизата растительного белка обладают таким же течением синерезиса, как пены на пенообразователе анионного типа на основе сульфатов. Анализ кинетики изменения объема пены подтверждают данные по синерезису (рис. 5).

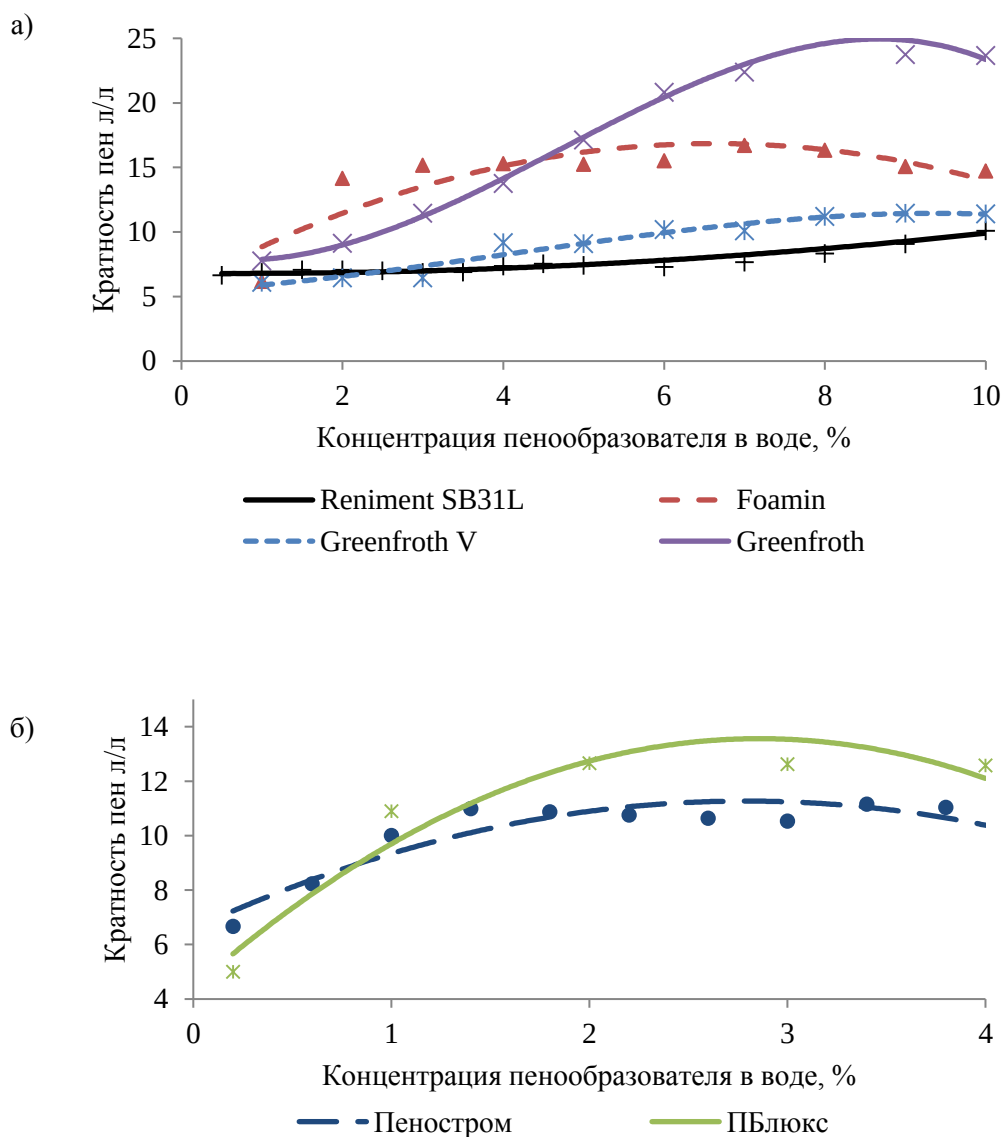


Рис. 1. Зависимость кратности пены от концентрации пенообразователей:
а) протеиновые; б) синтетические

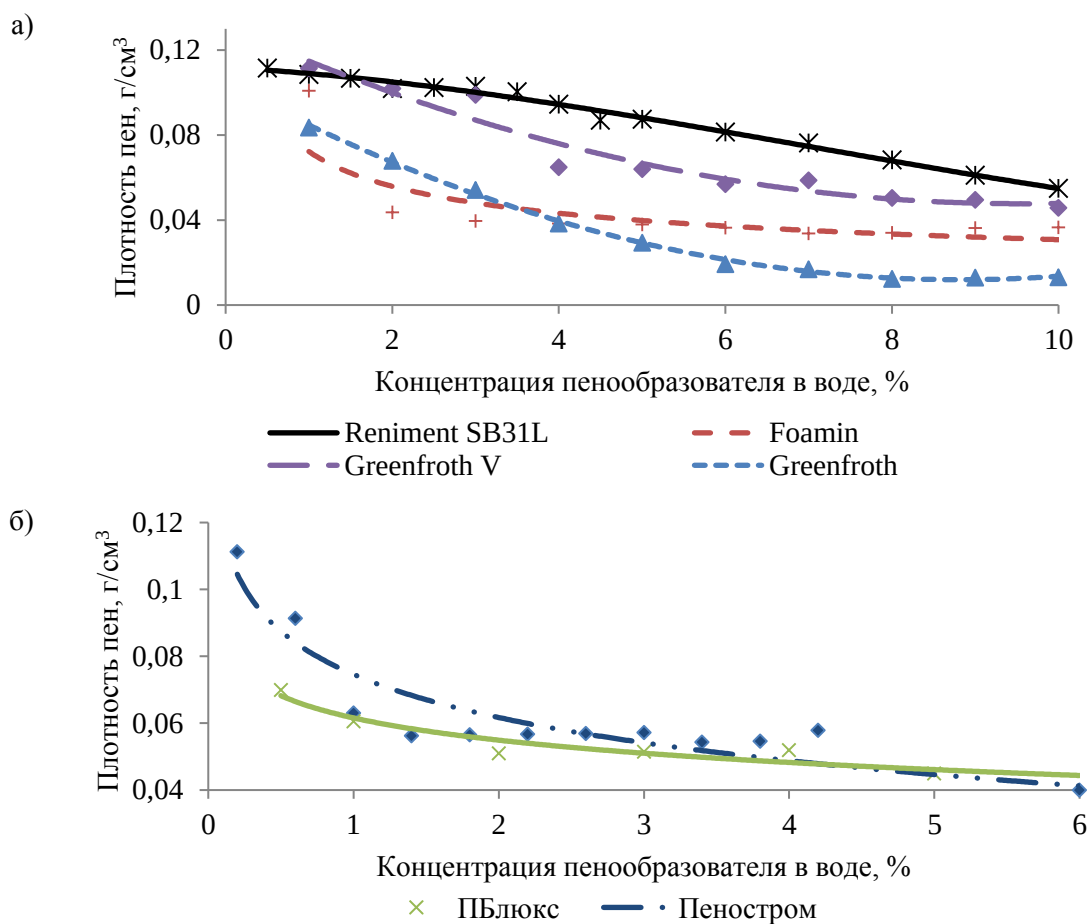


Рис. 2. Зависимость плотности пены от концентрации пенообразователей
а) органические пенообразователи; б) синтетические пенообразователи

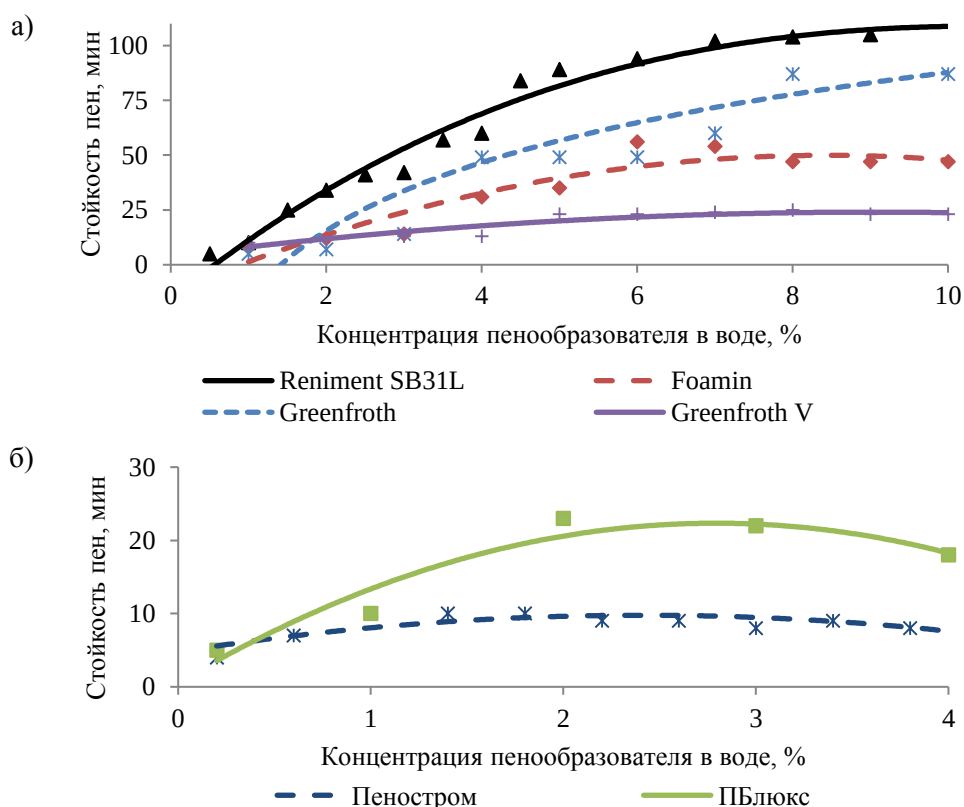


Рис. 3. Зависимость стойкости пены от концентрации пенообразователей:
а) протеиновых; б) синтетических

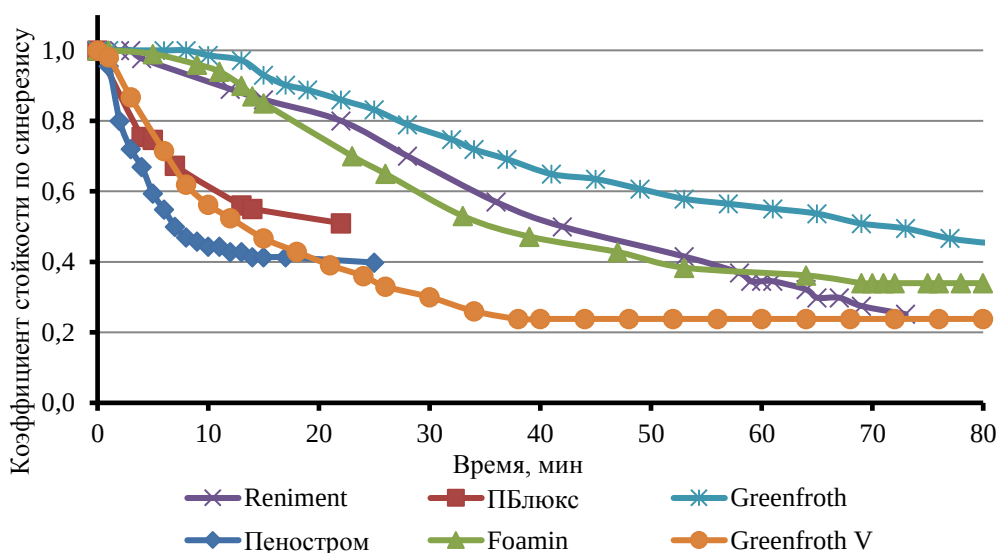


Рис. 4. Кинетика устойчивости пен во времени по синерезису

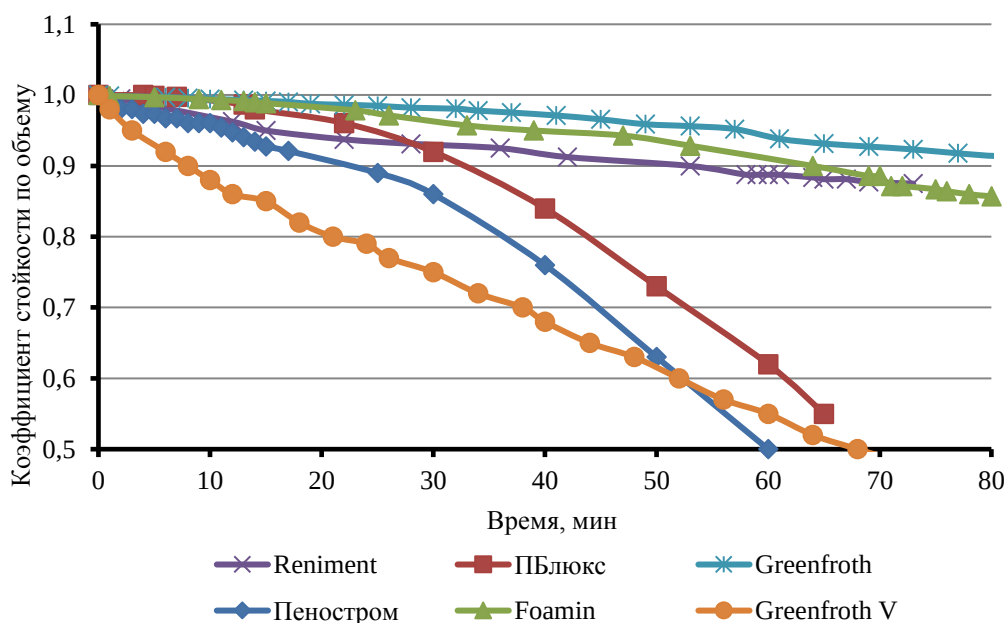


Рис. 5. Кинетика устойчивости пен во времени по объему

Стойкость в поризуемом растворе определялась согласно вышеописанной методике. Исследования проводились с целью оценки сохранения ячеистой структуры пены при смешении со связующими. Так, пониженная стойкость (менее 0,8) говорит об увеличении плотности, обусловленной недостатками компонентов смеси. В

связи с этим, была исследована поризация различных минеральных систем. Для сравнения в случае наноструктурированного бесцементного вяжущего эксперимент проводили как при начальной (исходной) влажности суспензии, так и при разбавлении системы в соответствии с методикой до $B/T=0,4$.

Таблица 2

Стойкость пены в различных поризованных растворах

Пенообразователь	Reniment SB31L	Пеностром	ПБ-Люкс	Foamin	GreenFroth	GreenFroth V
Концентрация ПО, %	6	1	2	2	4	5
Портландцемент	0,96	0,98	0,94	0,96	0,99	0,99
НВ из песка	0,89	0,98	0,95	0,98	0,85	0,62
НВ из песка ($B/T = 0,4$)	0,98	0,99	0,99	0,98	0,98	0,74
НВ из гранита (BABC)	0,55	0,61	0,55	0,90	0,82	0,55
НВ из гранита ($B/T = 0,4$)	0,60	0,76	0,60	0,99	0,95	0,60

Согласно полученным данным стойкости в цементном растворе (таблица 2) пенообразующие добавки обеспечивают формирование качественной пеной, так как значения $S_{\text{п}}^{\text{п}}$ больше и близки к 0,95. В наноструктурированном вяжущем пены также показывают высокую стойкость, кроме пены на органическом пенообразователе растительного происхождения GreenFroth V, где стойкость ниже удовлетворительной. Значения стойкости поризованных растворов ВАС имеют низкие показатели для большинства пенообразователей, кроме Foamix и GreenFroth, которые имеют высокие значения стойкости пены.

Выводы. На основе полученных результатов, можно охарактеризовать использованные пенообразующие добавки с учетом их состава и природы.

Протеиновые пенообразователи по степени эффективности, оцениваемой с учетом данных о кратности пен, стойкости по синерезису и в поризуемом растворе можно ранжировать в следующей последовательности (по уменьшению качества пены): Foamix → Reniment SB31L → GreenFroth.

Reniment SB31L обеспечивает относительно низкую кратность – 7–10, но высокую стойкость пены – 80–120 мин. Пена на его основе отличается хорошей стойкостью в поризованных растворах цементного теста и наноструктурированного вяжущего. Пенообразователь Foamix: кратность пены не превышает 15, стойкость варьируется от 30 до 50 мин. Протеиновый пенообразователь Foamix обладает самыми лучшими показателями стойкости в поризованных растворах и достигает качественной отметки со всеми видами минеральных вяжущих.

GreenFroth классический и на растительных белках обладает диаметрально различными характеристиками. Кратность GreenFroth классический достигает 15–25, стойкость 50–120 мин, GreenFroth V обладает кратностью около 10, стойкость 20–25 минут. Растительный GreenFroth имеет неудовлетворительные показатели стойкости в поризованных растворах бесцементных вяжущих, когда как GreenFroth V на растительных ПАВ имеет качественные значения для растворов с В/Ц=0,4 и удовлетворительные для наноструктурированных вяжущих с естественной влажностью.

Синтетические пенообразователи Пеностром и ПБ-Люкс имеют схожие показатели кратности и стойкости. Значение показателей: кратность 10–12 и 12–13, стойкость 8–10 и 17–20 мин. для пенообразователей Пеностром и ПБ-Люкс соответственно.

Источник финансирования. Грант Президента для молодых кандидатов МК-5980.2018.8; Программа развития опорного университета на базе БГТУ им. В.Г. Шухова.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бухало А.Б., Строкова В.В., Нелюбова В.В. Теплоизоляционный неавтоклавный пеногазобетон с нанодисперсными модификаторами. Белгород: Изд-во БГТУ, 2015. 137 с.
2. Володченко А.Н., Строкова В.В. Повышение эффективности силикатных ячеистых материалов автоклавного твердения // Вестник Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова. 2017. № 2 (58). С. 60–69.
3. Володченко А.Н., Строкова В.В. Особенности технологии получения конструкционно-теплоизоляционных ячеистых бетонов на основе нетрадиционного сырья // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2017. № 1. С. 138–143.
4. Кобзев В.А., Нелюбова В.В., Безродных А.А. Влияние органических модификаторов на стабильность пенных систем // Ресурсоэнергоэффективные технологии в строительном комплексе: сборник научных трудов по материалам 5-ой Международной научно-практической конференции, СГТУ им. Гагарина Ю.А., Саратов. 2017. С. 86–89.
5. Кобзев В.А., Строкова В.В., Сивальнева М.Н. Бесцементное вяжущее из гранодиорита и пенобетон на его основе. Белгород: Изд-во БГТУ, 2017 г. 142 с.
6. Кобзев В.А., Нецвет Д.Д. Особенности поризации ячеистобетонной смеси на основе различных типов вяжущего // В сборнике: Научные технологии и инновации Юбилейная Международная научно-практическая конференция, посвященная 60-летию БГТУ им. В.Г. Шухова (XXI научные чтения). 2014. С. 182–186.
7. Кобзев В.А., Нелюбова В.В., Безродных А.А. Влияние органических модификаторов на стабильность пенных систем // Ресурсоэнергоэффективные технологии в строительном комплексе региона. 2017. № 1 (8). С. 86–89.
8. Нелюбова В.В., Строкова В.В., Бухало А.Б. Неавтоклавные ячеистые композиты с нанокompонентами: монография. Beau Bassin: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2017. 109 с.
9. Сивальнева М.Н., Строкова В.В., Капуста И.Н. Микроструктурные особенности фибропенобетонных композитов на основе наноструктурированного вяжущего // В сборнике: Научно-практические проблемы в области химии и химических технологий Материалы X Межрегиональной научно-технической конференции молодых

ученых, специалистов и студентов вузов. Под редакцией А.И. Николаева, Д.П. Домонова. 2016. С. 105–108.

10.Сумин А.В., Строкова В.В., Нелюбова В.В., Еременко С.А. Пеногазобетон с наноструктурированным модификатором // Строительные материалы. 2016. № 1–2. С. 70–75.

11.Volodchenko A.A., Lesovik V.S., Volodchenko A.N., Zagorodnjuk L.H. Improving the efficiency of wall materials for «green» building through the use of aluminosilicate raw materials // International Journal of Applied Engineering Research. 2015. Т. 10, № 24. С. 45142–45149.

12.Sivalneva M.N., Pavlenko N.V., Pastushkov P.P., Strokov V.V., Netsvet D.D., Shapovalov N.A. Steam curing characteristics of cellular concrete on

the base of nanostructured binder // Journal of Fundamental and Applied Sciences. 2016. Т. 8. № 3S. С. 1480–1485.

13.Nelyubova V.V., Strokov V.V., Sumin A.V., Jernovskiy I.V. The structure formation of the cellular concrete with nanostructured modifier // Key Engineering Materials. 2017. Т. 729. С. 99–103.

14.Pavlenko N.V., Strokov V.V., Kapusta M.N., Netsvet D.D. About application prospectivity of rocks with different geological and morphological features as basic raw component for free-cement binder production // Applied Mechanics and Materials. 2014. Т. 670-671. С. 462–465.

15.Panesar D.K. Cellular concrete properties and the effect of synthetic and protein foaming agents // Construction and Building Materials. 2013. Т. 44. С. 575–584.

Информация об авторах

Попов Александр Леонидович, аспирант кафедры материаловедения и технологии материалов

E-mail: surrukin@gmail.com

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.

Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Нелюбова Виктория Викторовна, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры материаловедения и технологии материалов

E-mail: nelyubova.vv@bstu.ru

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.

Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Нецвет Дарья Дмитриевна, аспирант кафедры материаловедения и технологии материалов

E-mail: netsvet_dd@mail.ru

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.

Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила в декабре 2017 г.

© Попов А.Л., Нелюбова В.В., Нецвет Д.Д., 2018

A.L. Popov, V.V. Nelyubova, D.D. Netsvet THE INFLUENCE OF THE FOAMING AGENTS NATURE ON PHYSICAL AND TECHNICAL PROPERTIES OF FOAM

The paper considers the influence of the nature of foaming agent on the properties of foams. Based on the analysis of the market of modern pore-forming additives, from the number of foaming agents the most widely used components, as well as novelties of the market, have been chosen. The technical characteristics of the foaming agents provided on the market are reviewed. The influence of foaming agent concentration, composition and base on the foam expansion, stability and density of foams is studied in the paper. The optimum ("working") concentrations of foaming additives are determined taking into account their stability. The stability of foams formed on the basis of working solutions in porous systems of various compositions is studied. Based on the complex of studies, the protein foaming agents are ranked according to the degree of their effectiveness, according to the data on the physical and technical properties of foams obtained on their basis.

Keywords: foaming agent, foam, cellular concrete, stability, foam expansion, density.

REFERENCES

1. Bukhalo A.B., Strokov V.V., Nelyubova V.V. Heat-insulating non-autoclave foam gas-concrete with nanodispersed modifiers: monograph. Belgorod: publishing house of BSTU, 2015. 137 p.

2. Volodchenko A.N., Strokov V.V. Increase of efficiency of silicate honeycomb materials of autoclave hardening. // Vestnik of North-Eastern Federal University, 2017, no. 2 (58), pp. 60–69.

3. Volodchenko A.N., Strokov V.V. Peculiarities of technology for obtaining structural and heat-insulating cellular concrete on the basis of non-traditional raw materials // Bulletin of the Belgorod State

Technological University named after. V.G. Shukhov, 2017, no. 1, pp. 138–143.

4. Kobzev V.A., Nelyubova V.V., Bezrodnykh A.A. Influence of organic modifiers on the stability of foam systems // Resource-energy-efficient technologies in the construction complex: collected scientific papers on the materials of the 5th International Scientific and Practical Conference, SSTU named after Gagarin Yu.A., Saratov, 2017, pp. 86–89.

5. Kobzev V.A., Strokova V.V., Sivalneva M.N. Cement-free binder based on granodiorite and foam concrete on its basis: monograph. Belgorod: Publishing House of BSTU named after V.G. Shukhov, 2017, 142 p.

6. Kobzev V.A., Netsvet D.D. Peculiarities of porous concrete mixture on the basis of various types of binder // In the collected book: High technology and innovations. Jubilee International Scientific and Practical Conference, dedicated to the 60th anniversary of the BSTU named after V.G. Shukhov (XXI scientific readings), 2014, pp. 182–186.

7. Kobzev V.A., Nelyubova V.V., Bezrodnykh A.A. Influence of organic modifiers on the stability of foam systems // Resource-efficient technologies in the construction complex of the region, 2017, no. 1 (8), pp. 86–89.

8. Nelyubova V.V., Strokova V.V., Bukhalo A.B. Non-autoclaved cellular composites with nano-components: monograph. Beau Bassin: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2017, 109 p.

9. Sivalneva M.N., Strokova V.V., Kapusta I.N. Microstructural features of fiber-foamed concrete composites based on nanostructured binder // In the collected book: Scientific and practical problems in the field of chemistry and chemical technologies.

Materials of the X Interregional Scientific and Technical Conference of Young Scientists, Specialists and University Students. Edited by A.I. Nikolaev, D.P. Domonov, 2016, pp. 105–108.

10. Sumin A.V., Strokova V.V., Nelyubova V.V., Eremenko S.A. Foam-gas concrete with nanostructured modifier // Stroitel'nye Materialy, 2016, no. 1-2, pp. 70–75.

11. Volodchenko A.A., Lesovik V.S., Volodchenko A.N., Zagorodnjuk L.H. Improving the efficiency of wall materials for «green» building through the use of aluminosilicate raw materials // International Journal of Applied Engineering Research, 2015, vol. 10, no. 24, pp. 45142–45149.

12. Sivalneva M.N., Pavlenko N.V., Pastushkov P.P., Strokova V.V., Netsvet D.D., Shapovalov N.A. Steam curing characteristics of cellular concrete on the base of nanostructured binder // Journal of Fundamental and Applied Sciences, 2016. vol. 8, no. 3S, pp. 1480–1485.

13. Nelyubova V.V., Strokova V.V., Sumin A.V., Jernovskiy I.V. The structure formation of the cellular concrete with nanostructured modifier // Key Engineering Materials, 2017, vol. 729, pp. 99–103.

14. Pavlenko N.V., Strokova V.V., Kapusta M.N., Netsvet D.D. About application prospectivity of rocks with different geological and morphological features as basic raw component for free-cement binder production // Applied Mechanics and Materials, 2014, vol. 670–671, pp. 462–465.

15. Panesar D.K. Cellular concrete properties and the effect of synthetic and protein foaming agents // Construction and Building Materials, 2013, vol. 44, pp. 575–584.

Information about the author

Aleksandr L. Popov, Postgraduate student.

E-mail: surrukin@gmail.com

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov.
Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Viktoriya V. Nelyubova, PhD, Assistant professor.

E-mail: nelyubova.vv@bstu.ru

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov.
Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Daria D. Netsvet, Postgraduate student.

E-mail: netsvet_dd@mail.ru

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov.
Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received in December 2017

Логанина В.И., д-р техн. наук, проф.,
Мажитов Е.Б., аспирант

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕЖФАЗНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В ЗОЛЬСИЛИКАТНЫХ КРАСКАХ

loganin@mail.ru

Предложено использовать в качестве связующего при изготовлении силикатных красок полисиликатные растворы, полученные смешением жидкого стекла и золя кремниевой кислоты. Приведены сведения о механизме повышения эксплуатационных свойств покрытий на основе зольсиликатной краски. Выявлено, что полисиликатные растворы образуют пленки, характеризующиеся более высокой прочностью при растяжении, что обусловлено увеличением доли высокополимерных фракций кремнекислородных анионов в структуре полисиликатного связующего по сравнению с жидким стеклом.

Приведены результаты изучения межфазного взаимодействия между пигментом и пленкообразующим. Показано, что калиевые полисиликатные растворы образуют меньший краевой угол смачивания на поверхности пигмента (наполнителя) и характеризуются большей работой смачивания и адгезии к наполнителю (пигменту).

Ключевые слова: жидкое стекло, полисиликатные растворы, межфазное взаимодействие, краска.

Введение. Для отделки наружных и внутренних стен зданий нашли широкое применение силикатные краски, представляющие собой суспензию пигментов и наполнителей в жидком стекле [1]. Учитывая возрастающие требования к качеству отделки, актуальным является разработка способов модификации жидкого стекла, что позволит получить покрытия с более высокими защитными и декоративными свойствами. Анализ патентной и научно-технической литературы свидетельствуют, что одним из способов модификации является введение в состав связующего кремнийорганических соединений, фурилового спирта, раствора полистирола и других полимерных соединений [2, 3]. Представляет интерес применение в качестве пленкообразователей силикатных красок полисиликатов, которые обеспечивают более высокие эксплуатационные свойства покрытий [4, 5].

Пленкообразователи и вспомогательные вещества, адсорбируясь на поверхности пигментов и наполнителей, образуют граничные межфазные слои, отличающиеся по структуре и свойствам от исходного пленкообразователя. Эти межфазные прослойки влияют на многие свойства лакокрасочных материалов.

Как и любая коллоидная система, ЛКМ имеют запас поверхностной энергии Гиббса, определяемой поверхностным натяжением пигмента σ и площадью межфазной поверхности S . Поверхностная энергия Гиббса пигментной фазы воздействует на окружающие ее молекулы пленкообразователя как в жидких системах, так и в

покрытиях. Наиболее распространенным случаем этого воздействия является адсорбционное взаимодействие поверхности пигментов с пленкообразователями, играющее решающую роль в создании высокодисперсных и стабильных красочных систем.

Мерой адсорбционного взаимодействия является работа адгезии между фазами, количественно определяемая термодинамическим уравнением Дюпре – Юнга:

$$W_a = \sigma(1 + \cos \theta) \quad (1)$$

где W_a – работа адгезии; σ – межфазное натяжение; θ – равновесный краевой угол смачивания.

В соответствии с уравнением (1) параметром, определяющим работу адгезии, является способность полимерного пленкообразователя смачивать пигментные частицы.

Основная часть. Исходя из вышесказанного, в работе исследовались также когезионные свойства и способность полисиликатного связующего смачивать поверхность пигмента (наполнителя).

В работе полисиликатные растворы получали путем взаимодействия стабилизированных растворов коллоидного кремнезема (золей) с водными растворами щелочных силикатов (жидкими стеклами). Применяли золь кремниевой кислоты Nanosil 20 и Nanosil 30, выпускаемые ПК «Промстеклоцентр». Характеристики кремнезоля приведены в таблице 1. Применяли натриевое жидкое стекло с модулем $M=2,78$, ка-

ливое жидкое стекло – с модулем $M=3,29$. В качестве наполнителя применяли микрокальцит марки МК-2 (ТУ 5743-001-91892010-2011) и тальк марки МТ-ГШМ (ГОСТ 19284-79), в качестве пигмента – диоксид титана 230 рутильной формы (ТУ 2321-001-1754-7702-2014).

Было установлено, что покрытия на основе полисиликатных растворов характеризуются более быстрым отверждением. На рис. 1 показана

кинетика отверждения покрытия, которая характеризуется изменением относительной твердости. В возрасте 24 часов относительная твердость пленки на основе контрольного состава (без золя) составляет 0,28, а с добавлением золя Nanosil 20 в количестве 5, 10, 15 % от массы жидкого стекла соответственно 0,38; 0,43; 0,47. Процесс отверждения заканчивается спустя 7 суток (рис. 1).

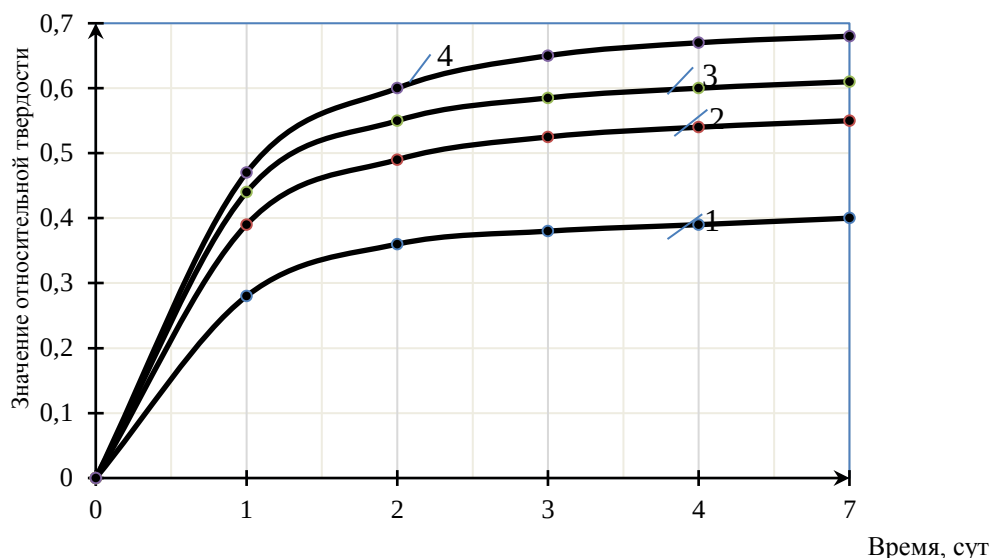


Рис. 1. Кинетика изменения относительной твердости пленок на основе полисиликатных растворов
1 – калиевое жидкое стекло; 2 – калиевое жидкое стекло +5 % Nanosil 20; 3 – калиевое жидкое стекло +10 % Nanosil 20; 4 – калиевое жидкое стекло +15 % Nanosil 20

Установлено, что пленки на основе полисиликатных растворов обладают более высокой когезионной прочностью [6]. Определение когезионной прочности проводили по ГОСТ 18299-72* на разрывной машине ИР 5057-50 при скорости деформирования 1 мм/мин.

Выявлено, что прочность при растяжении пленки на основе калиевого жидкого стекла составляет $R_p=0,392$ МПа, а прочность при растяжении пленки на основе полисиликатного раствора (15 % Nanosil 20) – 1,1345 МПа. Увеличение прочности, на наш взгляд, обусловлено увеличением доли высокополимерных фракций кремнекислородных анионов (ККА) в структуре полисиликатного связующего по сравнению с жидким стеклом [7]. Для изучения структуры жидких стекол применяли молибдатный метод, основанный на различной скорости взаимодействия мономерных, олигомерных и полимерных ККА с молибденовой кислотой.

Нами установлено, что с увеличением содержания золя доля полимерной формы кремнезема возрастает. В калиевом полисиликатном раствор содержание полимерной формы кремнезема $\gamma\text{-SiO}_2$ составляет 19,93 % при содержании золя 15 %, а в калиевом жидком стекле – 2,511 %.

Нами была рассчитана работа адгезии жидкого стекла и полисиликатного раствора к пигменту (наполнителю). Исследования выполнены с использованием оборудования на базе Центра Высших Технологий БГТУ им. В.Г. Шухова. Краевой угол смачивания определяли на приборе KRUSS DSA-30.

Для определения краевого угла смачивания были заформованы таблетки из смеси пигмента и наполнителя с помощью автоматического гидравлического пресса Vaneox – 40t automatic, с давлением в 18 тонн за 11 секунд. Порошок прессовали в сухом состоянии, без дополнительной обработки. Поверхностное натяжение растворов определяли стагмометрическим методом. Стагмометрический метод основан на измерении числа капель, образующихся при вытекании жидкости из вертикальной трубки небольшого радиуса. Связь между работой адгезии и работой смачивания определяется соотношением:

$$W_a = W_{cm} + \sigma_{ж-с} \quad (3)$$

Результаты исследований и расчетов приведены в табл. 1

Таблица 1

Работа адгезии полисиликатного связующего к наполнителю

Наименование пленкообразующего	Поверхностное натяжение, мН/м	Угол смачивания, °С	Работа адгезии, мДж/м ²	Работа смачивания, мН/м
Вода	72,8	46,2	123,18	50,38
Связующее				
Калиевое жидкое стекло	55,22	53,9	87,74	32,52
Калиевый полисиликатный раствор (15 % Nanosil 20)	64,064	51,6	103,85	39,786
Натриевое жидкое стекло	51,66	74,7	65,3	13,64
Натриевый полисиликатный раствор (15 % Nanosil 20)	55,22	62,5	80,73	25,51

Анализ данных, приведенных в табл.1, свидетельствует, что для калиевого полисиликатного раствора характерна большая работа адгезии к наполнителю (пигменту). Так, работа адгезии калиевого полисиликатного раствора к наполнителю (пигменту) составляет 103,85 мН/м, в то время как работа адгезии калиевого жидкого стекла – 87,74 мН/м. Аналогичные закономерности наблюдаются при применении натриевого жидкого стекла и натриевого полисиликатного раствора.

Для калиевого полисиликатного раствора характерна и большая работа смачивания, составляющая 39,786 мН/м.

При определении краевого угла смачивания было установлено, что капли из натриевого стекла на поверхности образца образовывали

угол намного больше, чем калиевого, и в течение 5 минут держались на поверхности без изменений, в то время как капли из калиевого – пол секунды сохраняли форму, а затем расплывались. Капли на основе натриевого полисиликатного раствора быстрее впитывались в материал, образуя пирамидную форму. Капли на основе калиевого полисиликатного раствора более устойчивы и задерживались на образце до двух минут.

Наличие более полного смачивания поверхности наполнителя и пигмента в случае применения калиевого полисиликатного раствора способствует формированию более плотной структуры покрытия и повышение физико-механических свойств. Об этом свидетельствуют данные об изменении прочности при растяжении пленок на основе красочных составов (рис. 2).

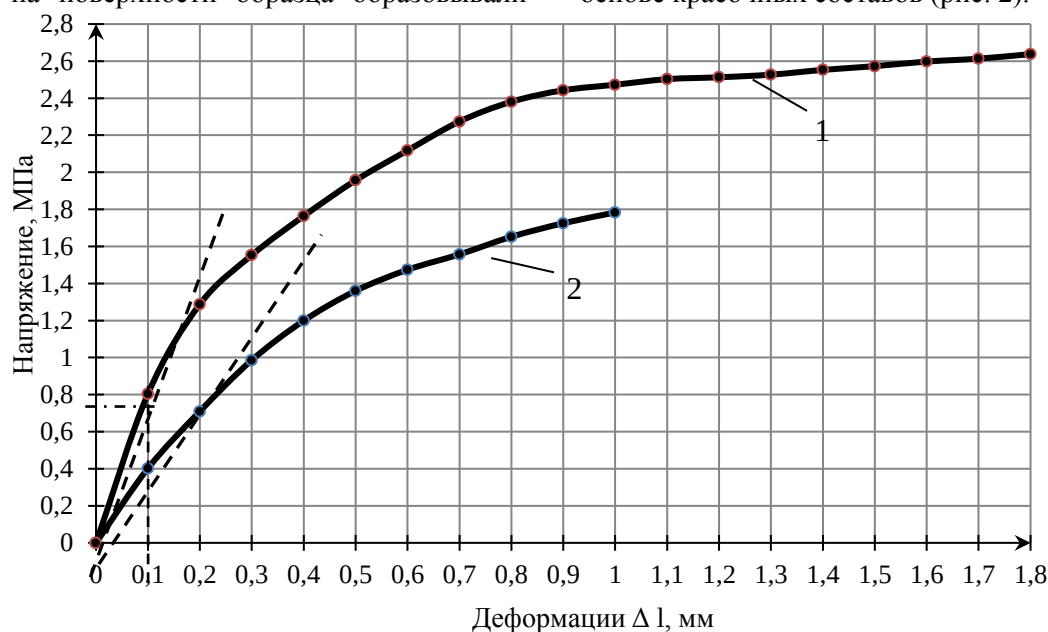


Рис. 2. Изменение относительных деформаций при растяжении образцов на основе:

1 – зольсиликатной краски; 2 – силикатной краски

Установлено, что когезионная прочность пленок на основе зольсиликатной краски составляет 2,65 МПа, а на основе силикатной краски –

1,8 МПа. Наблюдается увеличение относительных деформаций, составляющий у пленок на основе зольсиликатной краски 0,06 мм/мм, а на основе силикатной краски – 0,033 мм/мм.

Более высокие деформации покрытий на основе золь-силикатной краски характеризуют покрытия как более стойкие к трещинообразованию.

На основе полисиликатного раствора разработана рецептура состава, предназначенного для отделки наружных фасадов и внутренних стен зданий [8, 9]. Вязкость красочных составов составляет 17–20 с по ВЗ-4, степень высыхания до степени 5 – 70–90 мин, адгезия к растворной подложке – 1 балл, смываемость – не более 2 г/м². Краска образует покрытие, характеризующееся ровной однородной матовой поверхностью. Стойкость к статическому действию воды при температуре 20 °С составляет не менее 24 час.

Выводы. В результате проведенных исследований установлено, что повышение физико-механических свойств покрытий на основе полисиликатных связующих обусловлено изменением структуры самого пленкообразователя, вызванное увеличением доли высокополимерных фракций кремнекислородных анионов (ККА), а также повышением работы адгезии пленкообразующего к наполнителю (пигменту).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Корнеев В.И., Данилов В.В. Производство и применение растворимого стекла. Л.: Стройиздат, 1991. 176с.
2. Figovsky O., Beilin D. Improvement of Strength and Chemical Resistance of Silicate Polymer Concrete // International Journal of Concrete Structures and Materials. 2009. Vol. 3. №. 2. Pp. 97–101. DOI: 10.4334/IJCSM.2009.3.2.097.
3. Figovsky O., Borisov Yu., Beilin D. Nanostructured Binder for Acid-Resisting Building Materials // Scientific Israel-Technological Advantages. 2012. Vol. 14. № 1. Pp. 7–12.
4. Получение и применение гидрозолей кремнезема / под ред. Ю. Г. Фролова. М.: Труды МХТИ им. Д. И. Менделеева. 1979.
5. Айлер Р. Химия кремнезема. В 2 т. М.: Мир, 1982.
6. Санжаровский, А.Т. Физико-механические свойства полимерных и лакокрасочных покрытий. М.: Химия, 1978. 183 с.
7. РД 52.24.433-2005 Массовая концентрация кремния в поверхностных водах суши. МВИ фотометрическим методом в виде желтой формы молибдокремниевой кислотой. ГУ ГХИ. 2005. 13 с.
8. Логанина В.И., Кислицына С.Н., Мажитов Е.Б. Разработка рецептуры золь-силикатной краски // Региональная архитектура и строительство. 2017. №3. С.51–53
9. Логанина В.И., Кислицына С.Н., Демьянова В.С., Мажитов Е.Б. Свойства модифицированного связующего для силикатных красок // Региональная архитектура и строительство. 2017. №4(33). С.17–23.

Информация об авторах

Логанина Валентина Ивановна, доктор технических наук, профессор кафедры «Управление качеством и технология строительного производства».

E-mail: loganin@mail.ru

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства.
Россия, 440028, Пенза, ул. Германа Титова, д. 28.

Мажитов Еркебулан Бисенгалиевич, аспирант.

E-mail: mazhitov201090@gmail.com

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства.
Россия, 440028, Пенза, ул. Германа Титова, д. 28.

Поступила в январе 2018 г.

© Логанина В.И., Мажитов Е.Б., 2018

V.I. Loganina, E.B. Mazhitov

THE RESEARCH OF INTER-PHASE INTERACTION IN SOL-SILICATE PAINTS

It is proposed to use polysilicate solutions obtained by mixing liquid glass and silicic acid sol as a binder at silicate paints manufacturing. Information is provided on the mechanism for increasing the operational properties of coatings based on silicate paint sol. It has been revealed that the polysilicate solutions form films characterized by higher tensile strength due to the increase of the share of silicic anions' high-polymer fractions in the structure of polysilicate binder in comparison with liquid glass.

The results of studying the interphase interaction between the pigment and the film-forming agent are presented. It is shown that potassium polysilicate solutions form a smaller contact angle on the surface of the pigment (filler) and are characterized with greater work of wetting and adhesion to the filler (pigment).

Keywords: liquid glass, polysilicate solutions, interfacial interaction, paint.

Information about the author

Valentina I. Loganina, PhD, Professor.

E-mail: loganin@mail.ru.

Penza State University of Architecture and Construction.

Russia, 440028, Penza, st. Herman Titov, 28.

Erkebulan B. Mazhitov, Postgraduate student.

E-mail: mihail-frolovv@yandex.ru

Penza State University of Architecture and Construction.

Russia, 440028, Penza, st. Herman Titov, 28.

Received in January 2018

*Рахимбаев Ш.М., д-р техн. наук, проф.,
Толыпина Н.М., д-р техн. наук, проф.,
Хахалева Е.Н., канд. техн. наук, доц.,
Толыпин Д.А., студент*

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ВЫБОРА ТИПА ЦЕМЕНТА ДЛЯ ИЗДЕЛИЙ, ЭКСПЛУАТИРУЮЩИХСЯ В АГРЕССИВНЫХ СРЕДАХ

tolypina.nm@bstu.ru

В настоящее время в промышленно-развитых зарубежных странах существует тенденция использовать в борьбе с коррозией строительных изделий гидратационного твердения способы снижения проницаемости бетонов для агрессивных агентов внешней среды. Авторы статьи считают, что в вопросах защиты бетона и железобетона от коррозии необходимо использовать все имеющиеся в распоряжении специалистов средства, важнейшим из которых является правильный выбор цемента. Повышение коррозионной стойкости путем снижения водоцементного отношения бетонной смеси является универсальным способом, однако не всегда может обеспечить сохранность эксплуатационных свойств бетонных изделий и конструкций в агрессивных средах на весь срок службы. В связи с этим даны рекомендации по выбору типа цемента для наиболее часто встречающихся на практике агрессивных сред. Анализ литературных источников, показывает, что во многих случаях целесообразно использовать цемент с активными минеральными добавками.

Ключевые слова: *портландцемент, тип вяжущего, коррозия, агрессивная среда, бетоны.*

Введение. В последние годы долговечности бетонов уделяется большое внимание. Опыт строительства показывает, что неправильная оценка агрессивных компонентов окружающей среды и ошибочный выбор цемента, принципиально нестойких в данной среде, может привести к преждевременным разрушениям строительных изделий и конструкций. Долговечные материалы и изделия на цементной основе должны сохранять свою работоспособность в течение всего запланированного срока службы независимо от физических, химических и биологических негативных воздействий. Учитывая возрастающие масштабы строительства в РФ, использование первичных способов защиты бетонных и железобетонных конструкций от воздействия химических и биологических факторов может обеспечить экономию в млрд. руб/год.

В настоящее время в промышленно-развитых зарубежных странах наметилась тенденция бороться с коррозией строительных изделий и конструкций путем снижения проницаемости бетонов для агрессивных агентов внешней среды. При этом, подчеркнем, считают, что снижение водопотребности бетонной смеси сильно повышает долговечность, поэтому тип использованного цемента не имеет значения и нет необходимости в использовании наиболее стойкого в данной агрессивной среде цемента [1–5]. Авторы полагают, что эта точка зрения является спорной. В вопросах защиты бетона и железобетона от коррозии необходимо использовать все имеющиеся

в распоряжении специалистов средства, важнейшим из которых является правильный выбор цемента [6–8], так как при этом можно добиться самоторможения коррозии благодаря процессам коагуляции. Правильный выбор типа цемента и применение средств, снижающих водопотребность цементных систем – меры, не взаимоисключающие, а взаимодополняющие друг друга.

Основная часть. К сожалению, цемент является слабоизученным материалом, склонным к различным аномальным явлениям. Об этом говорят экспериментальные исследования и реальные факты, свидетельствующие о самопроизвольном растрескивании бетона даже в нормальных условиях эксплуатации. Внутренние напряжения могут усилить разрушение от коррозии. Поэтому применение только способа уплотнения бетона для повышения его стойкости в агрессивной среде является недостаточным.

Существующие методы снижения проницаемости цементной матрицы бетона в различных агрессивных средах путем введения в бетонную смесь так называемых супер- и гиперпластификаторов не всегда достаточно эффективны. Это относится прежде всего к тощим бетонам, у которых доля цементной составляющей относительно мала, а также к бетонам на основе малоалюминатных цементов с повышенным содержанием щелочей и сульфатов, которые слабо подвержены действию пластифицирующих добавок.

Нельзя гарантировать при изготовлении конструкций отсутствие микродефектов, которые

выполняют роль проводящих каналов для агрессивных компонентов окружающей среды. Защитой от таких негативных факторов, снижающих долговечность зданий и сооружений, может быть только правильный выбор цемента с учетом его основности. Необходимо использовать химизм процессов, протекающих в цементной матрице бетонов для повышения их коррозионной стойкости [9].

На основе анализа и обобщения литературных данных [10–16] в таблице 1 приведены сведения о наиболее распространенных видах агрессивных воздействий, которым подвергаются бетонные изделия и конструкции в процессе эксплуатации. Чаще всего это здания и сооружения химической промышленности, сельского и водного хозяйства.

Таблица 1

Рекомендуемые типы цемента для изделий, эксплуатирующихся в агрессивных средах

№ п/п	Где встречается	Степень агрессивности	Агрессивные компоненты	Вид коррозии	Рекомендуемый тип вяжущего (ГОСТ 31108-2016)
1	Атмосфера Земли	++	CO ₂ (газ)	Углекислотная в среде газа	ЦЕМ I, ЦЕМ II/A
2	Производство азотных удобрений, нитроцеллюлозы, органических нитропродуктов, искусственного нитроволокна	+++	Азотная кислота, аммиачная селитра	Кислотная	ЦЕМ III/A
3	Производство и складирование минеральных удобрений	++	Нитрат калия, натрия, аммония	Кислотная, выщелачивание	ЦЕМ III/A
			Серная кислота	Кислотная	
4	Кожевенное производство, изготовление бумаги	+++	Сернокислый алюминий, хроматы натрия и калия	Сульфатная	ЦЕМ I CC, ЦЕМ III/A
5	Производство соды	++	Водный р-р CO ₂	Углекислая	ЦЕМ III/A
6	Коксохимическая промышленность	+++	Ароматические одно- и многоатомные спирты	Кислотная, выщелачивание	ЦЕМ III/A
7	Химическая, нефтяная, текстильная промышленность, машиностроение	+++	Серная кислота до конц. 0,02 %	Кислотная	ЦЕМ III/A
8	Складирование сырья стекольных заводов	+++	Сода, бура, сульфаты		ЦЕМ III/A
9	Угольные склады, отвалы шлака	+++	Сернистое железо и др. соли	Сероводородная, общекислотная	ЦЕМ III/A
10	Железобетонные емкости для хранения нефти	+	Нефть и мазут сернистые	Сероводородная	ЦЕМ III/A
11	Нефтяная промышленность	+	Органические соединения серы	Сероводородная	ЦЕМ III/A
12	Животноводство и птицеводство	+++	Сероводород, аммиак, микроорганизмы	Сероводородная, биокоррозия	ЦЕМ III/A
13	Силосохранилища	+++	Органические кислоты 0,5–1 % (молочная, уксусная и др.)	Кислотная	ЦЕМ III/A
14	Пищевая промышленность, производство газированных напитков	+	Водный раствор CO ₂	Углекислотная	ЦЕМ III/A
15	Масложировая промышленность	++	Органические карбоновые кислоты (олеиновая, пальмитиновая), молочно-кислые бактерии	Кислотная, биокоррозия	ЦЕМ III/A

№ п/п	Где встречается	Степень агрессивности	Агрессивные компоненты	Вид коррозии	Рекомендуемый тип вяжущего (ГОСТ 31108-2016)
16	Сахарные заводы	+++	Сахар, сиропы, органические кислоты	Выщелачивание, кислотная	ЦЕМ III/A, ЦЕМ IV/A
17	Подземные сооружения	++	Сульфат-ионы, мягкие воды	Сульфатная, выщелачивание	ЦЕМ I CC, ЦЕМ III/A, ЦЕМ IV/A
			Ионы магния	Магнезиальная,	ЦЕМ I, ЦЕМ II/A-III, ЦЕМ II/A-3
18	Морские и речные сооружения (плотины, гидроэлектростанции, водопроводящие элементы, основания мостов и др.): - зона полного погружения	+++	Сульфат-ионы, ионы магния	Сульфатно-магнезиальная, выщелачивание	ЦЕМ I CC, ЦЕМ III/A, ЦЕМ IV/A
	- зона переменного уровня		Сульфат-ионы, ионы магния	Сульфатно-магнезиальная, выщелачивание, замораживание-оттаивание	ЦЕМ I CC, ЦЕМ II/A-III, ЦЕМ II/A-3
	- зона над водой		CO ₂ (газ)	Углекислотная, биологическая	ЦЕМ I, ЦЕМ II/A-III, ЦЕМ II/A-3
19	Коллекторы сточных вод	+++	Сульфатные соли	Сульфатная, выщелачивание	ЦЕМ I CC, ЦЕМ III/A, ЦЕМ IV/A
20	Дорожные покрытия из цементного бетона	++	Антигололедные химреагенты	Выщелачивание, замораживание-оттаивание	ЦЕМ II/A-III, ЦЕМ II/A-3

На Земле самой распространенной агрессивной средой является углекислый газ, содержащийся в атмосфере. В связи с этим углекислая агрессия является всеобъемлющим фактором, который необходимо учитывать при проектировании состава бетона.

Необходимо учитывать, что во всех случаях наблюдается карбонизация, за исключением закрытых подземных сооружений. В реальных условиях РФ к специфическим видам агрессии добавляется коррозия замораживания-оттаивания, где целесообразно применять цементы типа ЦЕМ I и ЦЕМ II.

В большинстве случаев необходимо применять активные минеральные добавки, которые ослабляют деструктивные явления, обусловленные кристаллизацией этtringита и льда. В качестве активных минеральных добавок по ГОСТ 31108-2016 используют: шлак, золу-унос, пуццоланы, микрокремнезем, глиеж, природные стекловидные кислые силикаты, обожженный сланец. Следует учитывать, что шлак более активная минеральная добавка по сравнению с золой-уносом, поэтому цементы типа ЦЕМ II/A-III и ЦЕМ II/III будут проявлять большую стойкость в

условиях сульфатной агрессии, как менее основные, по сравнению с ЦЕМ II/A-3 или ЦЕМ II/B-3.

Цементные бетоны можно использовать при кислотной коррозии только в том случае, когда концентрация кислоты не превышает 0,01 %. Если это условие не выполняется, то портландцемент не рекомендуется использовать. При концентрации сульфат-ионов от 250 мг/л и выше в большей степени развивается углекислотная коррозия, а не сульфатная, причем такая зависимость наблюдается вплоть до концентрации сульфат-ионов 1000–2000 мг/л.

Если в бетонных изделиях отсутствует армирование, то углекислотная агрессия (CO₂ газ) для изделий на основе ЦЕМ I и ЦЕМ II неопасна. При эксплуатации конструкций в подводных условиях рекомендуется использовать цементы типа ЦЕМ I CC, ЦЕМ III, ЦЕМ IV, ЦЕМ V, но нецелесообразно использовать в надводных условиях эксплуатации (кроме ЦЕМ I CC), т.к. они снижают морозостойкость и атмосферостойкость.

Изложенные способы выбора, вяжущего можно запрограммировать, обобщенный алгоритм показан на рис. 1.

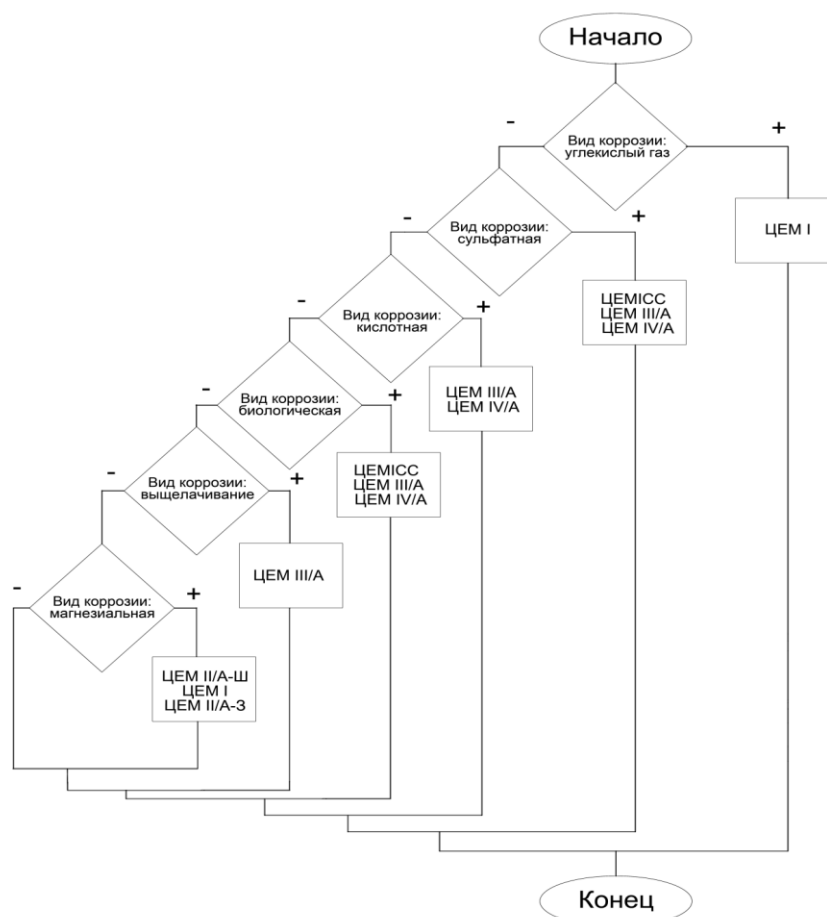


Рис. 1. Обобщенный алгоритм выбора вяжущего в зависимости от вида агрессивной среды

Выводы.

Повышение коррозионной стойкости путем снижения водоцементного отношения бетонной смеси является универсальным способом, однако не всегда может обеспечить сохранность эксплуатационных свойств бетонных изделий и конструкций в агрессивных средах на весь срок службы. При борьбе с коррозией важнейшим условием является правильный выбор цемента. В связи с этим обоснован выбор типа цемента для наиболее часто встречающихся на практике агрессивных сред. Анализ материалов, приведенных в табл. 1 показывает, что во многих случаях целесообразно использовать цемент с активными минеральными добавками.

Источник финансирования. Программа развития опорного университета на базе БГТУ им. В.Г. Шухова.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Штарк И., Вихт Б. Долговечность бетона Пер. с нем. А. Тулганова, под ред. П. Кривенко. Киев: Оранта. 2004. 301 с.
2. Cohen M., Olek J. Differentiating seawater and ground water sulfate attack in Portland cement

mortars Santhanam Manu // Cement and Concrete Research. 2006. Vol. 36. №12. Pp. 2132–2137.

3. Брыков А.С. Сульфатная коррозия портландцементных бетонов // Цемент и его применение. 2014. № 6. С. 96–103.

4. Bertron A.G., Escadeillas J. Duchesne Cement pasters alteration by liquid manure organic acids: chemical and mineralogical characterization // Cement and Concrete Research. 2004. Vol. 34. № 10. Pp. 1823–1835.

5. Розенталь Н.К. Коррозионная стойкость цементных бетонов низкой и особо низкой проницаемости: Дисс... д.т.н. Москва, НИИЖБ. 2004. 432 с.

6. Рахимбаев Ш.М. Принципы выбора цемента для использования в условиях химической агрессии // Известие Вузов. Строительство. 1996. № 10. С. 65–68.

7. Рахимбаев Ш.М., Карпачева Е.Н, Толыпина Н.М. О выборе типа цемента на основе теории кольматации при сложном составе агрессивной среды // Бетон и железобетон. 2012. № 5. С. 25–26.

8. Рахимбаев Ш.М., Толыпина Н.М. Повышение коррозионной стойкости бетонов путем

рационального выбора вяжущего и заполнителей. Белгород, Изд-во БГТУ, 2015. 321 с.

9. Рахимбаев Ш.М. Кинетика процессов кольматации при химической коррозии цементных систем // Бетон и железобетон. 2012. № 6. С. 16–17.

10. Алексеев С.Н., Иванов Ф.М., Модры С., Шисль П. Долговечность железобетона в агрессивных средах. Совм. изд. СССР–ЧССР–ФРГ. М.: Стройиздат, 1990. 320 с.

11. Алексеев С. Н., Розенталь Н. К. Коррозионная стойкость конструкций в агрессивной промышленной среде. М.: Стройиздат, 1976. 205 с.

12. Ferreira R.M. Probability based durability analysis of concrete structures in marine environment. Guimares : University of Minho, School of Engineering Departament of Civil Engineering, 2004. 321 p.

13. Курочка П.Н. Стойкость бетона в органических агрессивных средах : дисс...докт. техн. наук. Ростов-на-Дону. 2000. 288 с.

14. Лагерблад Б. Механизм карбонизации // Цемент и его применение. 2014. № 1-2. С. 177–181.

15. Латыпов В.М., Латыпова Т.В., Авренюк А.Н., Федоров П.А., Тимеряев Д.В., Кантор П.Л. Восстановление бетона и железобетона после деструктивного воздействия серосодержащих соединений // Строительные материалы. 2009. № 3. С. 58–59.

16. Wells T., Melchers R.E. An observation-based model for corrosion of concrete sewers under aggressive conditions // Cement and Concrete Research. 2014. Vol. 61–62. Pp.1–10.

Информация об авторах

Рахимбаев Шарк Матрасулович, доктор технических наук, профессор кафедры строительного материаловедения, изделий и конструкций.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.

Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Толыпина Наталья Максимовна, доктор технических наук, профессор кафедры строительного материаловедения, изделий и конструкций.

E-mail: tolypina.nm@bstu.ru

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.

Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Хахалева Елена Николаевна, кандидат технических наук, доцент кафедры строительного материаловедения, изделий и конструкций.

E-mail: hahaleva@intbel.ru

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.

Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Толыпин Даниил Александрович, студент

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.

Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила в декабре 2017 г.

© Рахимбаев Ш.М., Толыпина Н.М., Хахалева Е.Н., Толыпин Д.А., 2018

Sh.M. Rakhimbaev, N.M. Tolypina, E.N. Hahaleva, D.A. Tolypin OPTIMIZATION OF CEMENT TYPE SELECTION PROCESS FOR PRODUCTS IN AGGRESSIVE ENVIRONMENTS

Currently, in industrialized countries in order to prevent corrosion of the hydration-hardened building products a tendency to use methods reducing the permeability of concrete to aggressive agents of the environment is applied. The authors believe that to protect concrete and reinforced concrete against corrosion, it is necessary to use all available means at the disposal of specialists, the most important of which is the correct choice of cement. Increasing corrosion resistance by reducing the water-cement ratio of the concrete mixture is a universal way, but not always it can ensure preserving the performance properties of concrete products and structures in aggressive environments for their entire service life. In this regard, recommendations for choosing the type of cement for the most frequently encountered aggressive environments are given. The analysis of literature sources shows that in many cases it is advisable to use cement with active mineral admixtures.

Keywords: portland cement, type of binder, corrosion, aggressive environment, concretes.

REFERENCES

1. Stark I., Wicht B. Durability of concrete. Kiev: Orans. 2004. 301 p.
2. Cohen M., Olek J. Differentiating seawater and ground water sulfate attack in Portland cement mortars Santhanam Manu. Cement and Concrete Research, 2006, vol. 36, no. 12, pp. 2132–2137.
3. Brykov A.S. Sulphate corrosion of portland cement concrete // Cement and its applications, 2014, no. 6, pp. 96–103.
4. Bertron A.G., Escadeillas J. Duchesne Cement pasters alteration by liquid manure organic acids: chemical and mineralogical characterization // Cement and Concrete Research, 2004, no. 10, vol. 34, pp. 1823–1835.
5. Rosenthal N.K. Corrosion resistance of cement concretes of low and especially low permeability. Diss. Ph. D. Moscow, NIIZHB. 2004. 432 p.
6. Rakhimbaev S.M. Principles of selection of cements for use in the conditions of chemical aggression // Izvestiya Vuzov. Construction, 1996, no. 10, pp. 65–68.
7. Rakhimbaev S.M., Karpacheva E.N., Tolykina N. M. On the choice of type of cement on the basis of the theory of mudding in complex composition of the aggressive environment // Concrete and reinforced concrete, 2012, no. 5, pp. 25–26.
8. Rakhimbaev S.M., Tolykina N.M. The increased corrosion resistance of concrete by rational selection of binder and fillers. Belgorod, Publishing house of BSTU, 2015, 321 p.
9. Rakhimbaev S.M. Kinetics of clogging in chemical corrosion of cement systems // Concrete and reinforced concrete, 2012, no. 6, pp. 16–17.
10. Alekseev S.N., Ivanov F.M., Modra, S., Sisli P. Durability of reinforced concrete in aggressive environments. Jointly. ed. USSR–Czechoslovakia–Germany. M.: Stroizdat, 1990, 320 p.
11. Alekseev S.N., Rosenthal N.K. Corrosion resistance of structures in aggressive industrial environments. M: Stroizdat, 1976. 205 p.
12. Ferreira R.M. Probability based durability analysis of concrete structures in marine environment. Guimares. University of Minho, School of Engineering Departament of Civil Engineering, 2004, 321 p.
13. Kurochka P. N. Durability of concrete in aggressive environments, organic. Diss. Ph. D. Rostov-on-Don. 2000, 288 p.
14. Lagerblad B. Mechanism of carbonation // Cement and its applications, 2014, no. 1-2, pp. 177–181.
15. Latypov V.M., Latypov T.V., Lavrenyuk A.N., Fedorov P.A., Timiryayev D.V., Kantor P.L. Restoration of concrete and reinforced concrete after the destructive effects of sulfur-containing compounds // Stroitel'nye Materialy, 2009, no. 3, pp. 58–59.
16. Wells T., Melchers R.E. An observation-based model for corrosion of concrete sewers under aggressive conditions // Cement and Concrete Research, 2014, vol. 61–62, pp.1–10.

Information about the author

Shark M. Rakhimbaev, PhD, Professor.

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov.
Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Nataliy M. Tolykina, PhD, Professor.

E-mail: tolykina.nm@bstu.ru

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov.
Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Elena N. Hahaleva, PhD, Assistant professor.

E-mail: hahaleva@intbel.ru

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov.
Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Daniil A. Tolykin, student

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov.
Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received in December 2017

¹Рыбникова И.А., ст. препод.,²Рыбников А.М., канд. техн. наук, доц., ст. научн. сотр.¹Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова
(Новороссийский филиал)²Государственный морской университет им. адм. Ф.Ф. Ушакова (г. Новороссийск)

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ НАТУРНЫХ ИСПЫТАНИЙ БУРОНАБИВНЫХ КОНИЧЕСКИХ СВАЙ НА ДЕЙСТВИЕ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ НАГРУЗОК

a.ribnikov@novoroshkp.ru.

Одним из способов повышения несущей способности буронабивных свай является придание им конусности. Особенность работы таких свай (клиновидных) состоит в том, что под нагрузкой они работают «в распор» и передают часть нагрузки за счёт нормальной составляющей по наклонной боковой поверхности. Испытывались три типоразмера буронабивных конических свай длиной 4,5 м, диаметром головы 0,4; 0,5; 0,6 м с углом конусности 1° – $2,5^\circ$. Результаты испытаний сравнивались с результатами испытаний цилиндрических буронабивных свай длиной 4,5 м диаметром головы 0,4 м и 0,6 м. Выявлено, что с увеличением угла конусности несущая способность свай на вдавливающую нагрузку, особенно удельная несущая способность на 1 м^3 материала по сравнению с цилиндрическими сваями, существенно возрастает. Определено, что несущая способность на горизонтальную нагрузку тем выше, чем больше диаметр головы сваи, а на выдёргивающую нагрузку равно усилию отрыва сваи из грунта.

Ключевые слова: буронабивная свая, конусность сваи, буровой став, статические испытания, несущая способность.

Введение. Буронабивные сваи, в отличие от забивных, изготавливают непосредственно на строительной площадке в пробуренных скважинах в грунте ненарушенной структуры. Такие сваи выгодно применять в стеснённых условиях строительства в связных неводонасыщенных грунтах. Однако известно, что прочность материала ствола цилиндрических буронабивных свай используется лишь на 25–45 %. Одним из путей повышения несущей способности буронабивных свай является придание им конической формы, по типу пирамидальных забивных свай или конусных набивных свай в пробитых скважинах. Особенность работы свай, сужающихся к острию (пирамидальных, клиновидных), состоит в том, что под нагрузкой они работают «в распор», подобно объёмному клину, и передают часть нагрузки за счёт нормальной составляющей по наклонной боковой поверхности. На основе этого явления и была предложена конструкция буронабивной конической сваи, сочетающая в себе основные преимущества забивных клиновидных и буронабивных свай [1]. Результаты модельных испытаний таких свай показали их эффективность и предопределили проведение их натурных полевых испытаний.

Диаметр голов натурных буронабивных конических свай был принят по типу модельных свай $d_f = 0,4; 0,5; 0,6$ м. Для удобоукладываемости бетонной смеси и последующего её уплотнения в

суженной нижней части скважины (острия) минимальный диаметр торца был принят $d_o = 0,2$ м. При длине сваи 4,5 м и принятых диаметрах голов и торца (острия) конусность свай составила 1 – $2,5^\circ$. Для получения сравнительных данных испытывались также две цилиндрические сваи диаметром 0,4 и 0,6 м длиной также 4,5 м (рис. 1). Обозначения свай приняты по их наименованию – БКС (буронабивные конические сваи) и БЦС (буронабивные цилиндрические сваи), размеры свай на рис. 1 даны в сантиметрах. Все опытные сваи изготавливались из бетона класса В20 и армировались четырьмя стержнями арматуры диаметром 20 мм марки А-III (А-400).

Методология. Известно, что достоверными являются результаты испытаний натурных конструкций свай в грунтах природного сложения. В настоящей работе приводятся результаты полевых испытаний буронабивных конических свай на действие вертикальной вдавливающей, горизонтальной и выдёргивающей нагрузок по ГОСТ 5686–2012 [2] на экспериментальном полигоне. Для бурения конических скважин были спроектированы и изготовлены буровые ставы трёх типоразмеров. Они состояли из шнека, соединённого со сменным породоразрушающим наконечником-резцом пальцем. Для повышения эффективности транспортирования разрабатываемого грунта на поверхность лопасти шнека установлены с различным шагом. Торцы лопастей и

низ резца снабжены твёрдосплавными пластинами (рис. 2). Конические ставы, так же, как и обычные цилиндрические ставы диаметром 0,4 м и 0,6 м, использовались как сменное оборудование к бурильным установкам типа БУК-600, СО-2, УБС-1 (рис. 3).

На опытном полигоне была отработана технология изготовления буронабивных конических

свай. Работы по их изготовлению выполнялись звеном из четырёх человек: машиниста бурильной установки, крановщика и двух бетонщиков. Время цикла на изготовление одной сваи с учётом конкретных производственных условий – 24–30 мин.

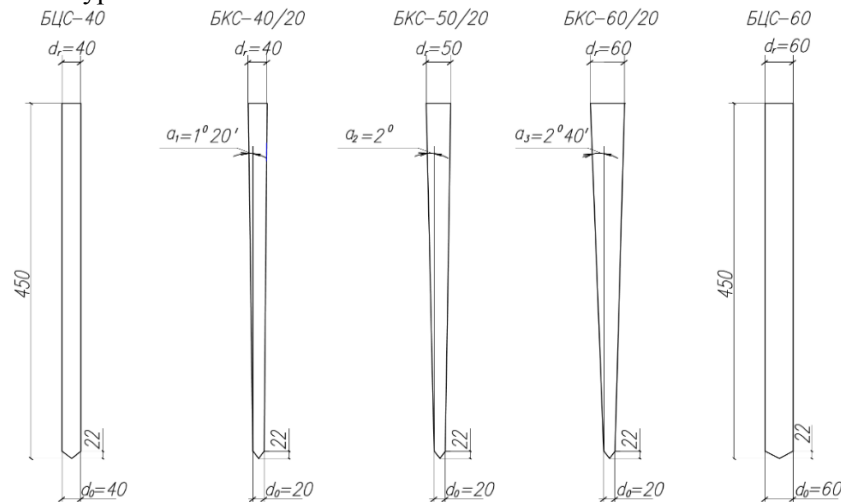


Рис. 1. Типоразмеры опытных буронабивных конических и цилиндрических свай

Для испытаний статической вдавливающей нагрузкой применялся гидравлический домкрат ДГО-200 грузоподъёмной силой 200 т, упором для которого служил специальный анкерный стенд, состоящий из главной 6-ти метровой стальной балки и двух вспомогательных балочек. Реактивные усилия воспринимались четырьмя анкерными цилиндрическими сваями диаметром

0,6 м. Горизонтальная нагрузка одновременно на две буронабивные конические сваи создавалась домкратом ДГ-50 через головы свай попарно, расположенным между ними (рис. 4). При испытаниях буронабивных конических свай выдёргивающей нагрузкой использовалась главная балка анкерного стенда, опёртая на фундаментные бетонные блоки.



Рис. 2. Ставы (шнеки) буровые конические



Рис. 3. Бурильная установка БУК-600 с буровым коническим ставом (шнеком)

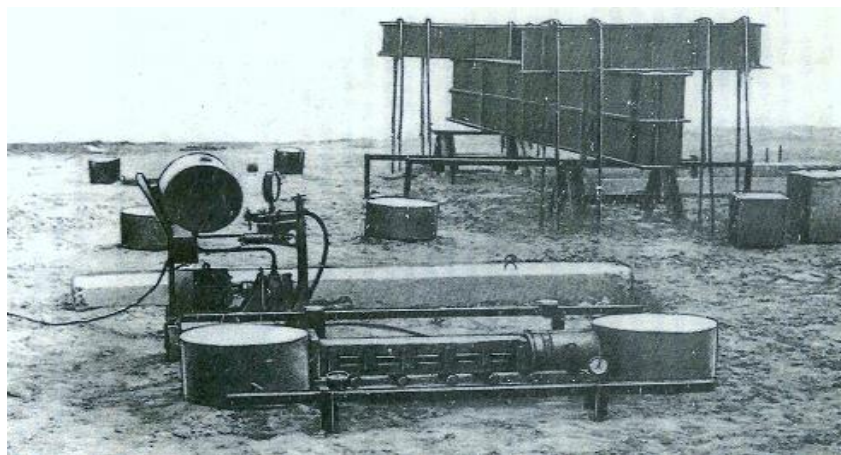


Рис. 4. Экспериментальный полигон по испытанию свай разными видами нагрузок

По результатам испытаний строились графики зависимости «нагрузка-осадка», «нагрузка-горизонтальное перемещение», «нагрузка-выход из грунта», и по ним определялась несущая способность свай согласно СП 22.13330.2011 [3] и СП 22.13330.2011 [4].

Основная часть. Всего на экспериментальном полигоне в г. Павлодаре, сложенном твёрдой супесью с объёмной массой $\rho = 1,82 \text{ т/м}^3$, углом внутреннего трения $\varphi = 22^\circ$ и модулем деформации $E = 18 \text{ МПа}$, было испытано 17 буронабивных конических свай (БКС) и цилиндрических (БЦС) свай с диаметром голов 0,6; 0,5; 0,4 м следующими видами нагрузок: вдавливающей нагрузкой – 7 шт., горизонтальной – 6 шт. (попарно), выдёргивающей – 4 шт. За эталонную была принята цилиндрическая свая диаметром 0,4 м (БЦС-40), так как её объём сопоставим с объёмами конических свай.

Результаты испытаний свай приведены в табл. 1. Они показали, что несущая способность буронабивных конических свай на вдавливающую нагрузку F в указанных грунтовых условиях в 1,2...1,4 раза больше, чем цилиндрических. Это можно объяснить дополнительным отпором грунта по боковой поверхности при нагрузке, то есть так называемым клиновым эффектом. С увеличением угла конусности α (рис. 1) повышается несущая способность свай, и одновременно увеличивается расход материала на их изготовление. При этом удельная несущая способность конических свай (F/V) при осадке на 20 мм составила от 519 кН/м³ до 981 кН/м³, цилиндрическая диаметром 0,6 м – 493 кН/м³, цилиндрическая диаметром 0,4 м – 735 кН/м³.

Анализ результатов испытаний свай позволил сравнить зависимости, а также технико-экономически обосновать расход материала свай по коэффициенту эффективности использования материала сваи K_z равному отношению удельных несущих способностей исследуемых свай к удельной несущей способности эталонной. Так

как за эталонную была принята цилиндрическая свая диаметром 40 см – БЦС-40, то показатели K_z для разных свай вычислялись по формуле $F/V:(F/V)_{\text{БЦС-40}}$. Дополнительно вычислялся коэффициент применения свай K_p , определяемый как отношение несущих способностей исследуемых свай к несущей способности эталонной сваи ($F/F_{\text{БЦС-40}}$). Численные показатели обоих коэффициентов с увеличением угла конусности свай имели нарастающий характер.

Анализ данных табл. 1 показал, что зависимость несущей способности конических свай на разные виды нагрузок от их угла конусности α близка к прямо пропорциональной (рис. 5).

Оптимальный угол конусности $\alpha = 2,32'$ найден графически на пересечении кривых зависимости коэффициентов K_p и K_z (рис. 6). При длине сваи равной 4,5 м и диаметре нижнего торца 0,2 м эффективной конструкцией теоретически в исследованных пределах оказалась свая с диаметром головы 0,56 м.

Величина несущей способности свай при действии горизонтальной нагрузки $F_{\text{гор}}$ определялась при перемещении головы сваи на $\Delta = 10 \text{ мм}$. Анализ полученных данных из табл. 1 показал, что сопротивление свай горизонтальной нагрузке зависит от диаметра ствола сваи в верхней части и будет тем выше, чем больше его диаметр. Конические сваи БКС-40/20 и цилиндрические БЦС-40 имеют одинаковый диаметр головы, но у них выявлена разная несущая способность – в среднем 21 и 36 кН соответственно. Это объясняется утоньшением ствола конических свай к острию. У свай БКС-60/20 несущая способность значительно выше и составляет в среднем 73 кН, поскольку диаметр головы у них 0,6 м, а диаметр ствола равным 0,4 м (как у эталонной сваи) достигается на глубине более 2 м.

В процессе испытаний свай горизонтальной нагрузкой были выполнены наблюдения за деформациями грунта, вызванными смещениями свай. При начальных ступенях нагрузки, когда

головы свай переместились на 8–10 мм, на поверхности грунта возле свай появлялись еле заметные радиальные трещины. С дальнейшим перемещением голов свай от нагрузок трещины увеличивались. Их длина достигала 30–40 см, ширина – до 3 см, максимальная глубина – 15 см. Между сваями и грунтом в месте приложения

нагрузки образовывалась серповидная щель, которая увеличивалась по мере роста ступеней нагрузок. Обрушения грунта в щель на протяжении всего испытания не наблюдалось. Таким образом, выявлены при таком виде нагружения свай три фазы деформации оснований: уплотнения, локальных сдвигов и фаза развития значительных сдвигов.

Таблица 1

Результаты натурных испытаний буронабивных конических свай

Марка сваи	Угол конус- ности α , град	Объём сваи V , м ³	Площадь боковой поверхности сваи, м ²	Несущая способность, кН			$\frac{F}{V}$ кН/м ³	K_{Π}	K_{Σ}
				F	F _{гор}	F _{выд}			
Вдавливающая нагрузка									
БПС-40	-	0,547	5,38	402	-	-	735	1	1
БКС-40/20-1	1°20′	0,316	4,03	164	-	-	519	0,408	0,706
БКС-40/20-2	1°20′	0,316	4,03	201	-	-	636	0,500	0,865
БКС-50/20	2°	0,439	4,71	380	-	-	866	0,945	1,178
БКС-60/20-1	2°40′	0,585	5,38	565	-	-	966	1,405	1,314
БКС-60/20-2	2°40′	0,585	5,38	574	-	-	981	1,428	1,335
БПС-60	-	1,230	8,06	606	-	-	493	1,507	0,671
Горизонтальная нагрузка									
БПС-40-1	-	0,547	5,38	-	39	-	-	-	-
БПС-40-2	-	0,547	5,38	-	33	-	-	-	-
БКС-40/20-1	1°20′	0,316	4,03	-	20	-	-	-	-
БКС-40/20-2	1°20′	0,316	4,03	-	23	-	-	-	-
БКС-60/20-1	2°40′	0,585	5,38	-	67	-	-	-	-
БКС-60/20-2	2°40′	0,585	5,38	-	78	-	-	-	-
Выдёргивающая нагрузка									
БПС-40	-	0,547	5,38	-	-	120	-	-	-
БКС-40/20	1°20′	0,316	4,03	-	-	12	-	-	-
БКС-50/20	2°	0,439	4,71	-	-	32	-	-	-
БКС-60/20	2°40′	0,585	5,38	-	-	48	-	-	-

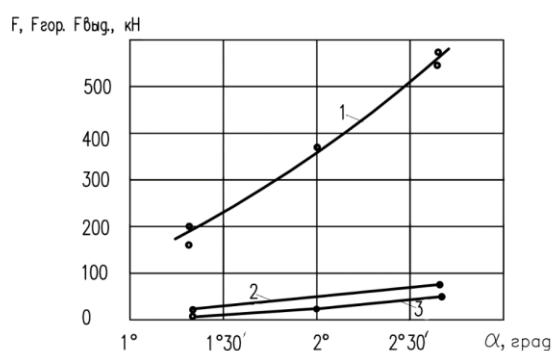


Рис. 5. График зависимости несущей способности свай при вдавливающей F (1), горизонтальной $F_{гор}$ (2) и выдёргивающей $F_{выд}$ (3) нагрузках от угла их конусности α

Выход свай из грунта под действием выдёргивающей нагрузки $F_{выд}$ показал, что сопротивление конических свай такому виду нагрузки очень мало (см. табл. 1). Критическая нагрузка достигается при 3–4 мм, когда выход свай из грунта с учётом веса свай принимает незатухающий характер. За несущую способность свай принимался выход их из грунта при нагрузке на одну ступень менее нагрузки, без увеличения которой

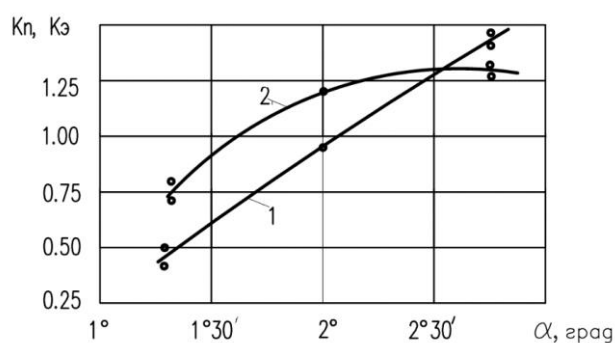


Рис. 6. График зависимости коэффициентов применения K_n (1) и эффективности использования материала K_z (2) от угла конусности α

выход свай непрерывно возрастал. Это относилось к величинам выхода свай на 1,5–2 мм.

Коническая свая БКС-60/20 и эталонная свая БЦС-40 имеют абсолютно одинаковую площадь боковой поверхности. Однако сопротивление у цилиндрической свай выдёргивающей нагрузке в 2,5 раза выше, чем конической. Следовательно, для конических свай характерна не величина трения по боковой поверхности, а усилие отрыва для

сил сцепления. С увеличением угла конусности свай возрастает площадь боковой поверхности, то есть увеличивается площадь сцепления с грунтом, и, соответственно, сопротивление свай выдёргивающим нагрузкам возрастает. Так, для свай БКС-40/20 несущая способность равна 12

кН, для свай БКС-50/20 – 32 кН, для свай БКС-60/20 – 48 кН.

После завершения испытаний для выявления качества изготовления буронабивных конических свай некоторые из них были откопаны (рис. 7).



Рис. 7. Откопанная буронабивная коническая свая БКС-60/20

Результаты проведенных испытаний были использованы при проектировании и строительстве сельскохозяйственных, гражданских и некоторых промышленных сооружений производственного и вспомогательного назначений.

Выводы. Несущая способность буронабивных свай может быть увеличена за счёт придания им конусной формы. Разработанные конструкции буронабивных конических свай с углом конусности от 1° до $2,5^\circ$ обладают удельной несущей способностью (на 1 м^3 материала) на 20–40 % выше, чем равные им по объёму цилиндрические сваи. Несущая способность конических свай при действии горизонтальной и выдёргивающей нагрузок тем выше, чем больше диаметр головы свай.

Результаты натурных испытаний буронабивных конических свай на разные виды нагрузок показали их эффективность. Из исследуемых типоразмеров лучшие исследуемые показатели у свай БКС-60/20, худшая у свай БКС-40/20. Область рационального применения таких свай – связные грунты, в которых не требуется крепление стенок скважин, а уровень грунтовых вод в период строительства должен быть расположен ниже глубины бурения скважины. Предпочтительнее, когда с поверхности залегают более прочные грунты. Не рекомендуется применять их в набухающих, пучинистых, а также насыпных грунтах с включением строительного мусора.

При соблюдении разработанной и опробованной технологии изготовления буронабивные конические сваи получают хорошего качества.

По сравнению с цилиндрическими сваями той же длины и сопоставимого диаметра такие сваи более экономичны за счёт снижения расхода материала при одинаковых затратах времени на их изготовление.

Предлагаемая конструкция свай эффективна только как для «висячих» свай при минимальных выдёргивающих нагрузках. Указанная особенность применения таких свай объясняется тем, что их несущая способность определяется главным образом сопротивлением грунта по боковой поверхности за счёт расклинивающего эффекта. Наиболее рациональны буронабивные конические сваи в составе фундаментов сельскохозяйственных и некоторых промышленных сооружений производственного и вспомогательного назначений при нагрузке на фундамент до 1 250 кН, а также жилых и общественных зданий при распределённой нагрузке до 125 кН/м.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Рыбникова И.А., Рыбников А.М. Разработка конструкций буронабивных конических свай // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2017. № 2. С. 68–72.
2. ГОСТ 5686-2012. Грунты. Методы полевых испытаний сваями.
3. СП 24.13330.2011. Свайные фундаменты. Актуализированная редакция СНиП 2.02.03-85.
4. СП 22.13330.2011. Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83*.

Информация об авторах

Рыбникова Ирина Александровна, старший преподаватель кафедры гуманитарных и естественнонаучных дисциплин.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова (Новороссийский филиал). Россия, 353915, Краснодарский край, г. Новороссийск, ул. Мысхакское шоссе, д.75.

Рыбников Александр Михайлович, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, доцент кафедры «Подъемно-транспортные машины и комплексы».

E-mail: a.ribnikov@novoroskhp.ru.

Государственный морской университет имени адмирала Ф.Ф. Ушакова.

Россия, 353918, Краснодарский край, г. Новороссийск, пр. Ленина, д. 93.

Поступила в декабре 2017 г.

© Рыбникова И.А., Рыбников А.М., 2018

I.A. Rybnikova, A.M. Rybnikov

**ANALYSIS OF THE FIELD TESTS RESULTS OF BORED CONICAL PILES
UNDER THE ACTION OF VARIOUS TYPES OF LOADS**

One of the methods of improving the bearing capacity of bored piles is giving them a taper. The feature of these (wedge-type) piles is that under load they work "as a thrust" and transfer part of the load due to the normal component to the inclined side surface. Three sizes of tapered bored piles were tested, with the length of 4.5 m, head diameter 0.4; 0.5; 0.6 m and with cone angle 1° and 2,5°. The test results were compared with the test results of cylindrical piles, 4.5 m long, with head diameter 0.4 m and 0.6 m. It has been discovered that with the increasing cone angle, the bearing capacity of piles against the pressing load, especially the specific load capacity for 1 m³ of material, as compared to cylindrical piles, increases significantly. It has been determined that the larger is the diameter of the head of the pile, the higher is the bearing capacity against the horizontal load, and the bearing capacity against the pullout load is equal to the breakout force of a pile from the soil.

Keywords: bored piles, taper of piles, drilling assembly, static testing, load-bearing capacity.

REFERENCES

1. Rybnikov A.I., Rybnikov A.M., Development of construction of bored tapered piles // Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2017, no. 2, Pp. 68–72.

2. Russian standard 5686-2012. Soils. Methods of left-wing tests by piles.

3. Construction Regulation Standards Building Code 24.13330.2011. Pile pounds-cops. The updated edition of Construction Regulation Standards Building Code 2.02.03-85.

4. Construction Regulation Standards Building Code 22.13330.2011. Foundations of buildings and structures. The updated edition of Construction Regulation Standards Building Code 2.02.01-83*.

Information about the author

Irina A. Rybnikova, Senior lecturer.

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Novorossiysk branch.

Russia, 353915, Krasnodar region, Novorossiysk, Myshaksky highway str., 75.

Aleksandr M. Rybnikov, PhD, Assistant professor, Senior researcher.

E-mail: a.ribnikov@novoroskhp.ru.

State Maritime University named after admiral F.F. Ushakov.

Russia, 353918, Krasnodar region, Novorossiysk, Lenin Avenue, 93.

Received in December 2017

К ОПРЕДЕЛЕНИЮ МОМЕНТА ТРЕЩИНООБРАЗОВАНИЯ ИЗГИБАЕМЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ С УЧЁТОМ ПЛАСТИЧЕСКИХ ДЕФОРМАЦИЙ БЕТОНА РАСТЯНУТОЙ ЗОНЫ

olegxxii@mail.ru

При нормативном расчёте момента трещинообразования изгибаемых железобетонных элементов используется коэффициент пластичности γ , который по СП 63.13330.2012 на 35 % меньше, чем по «старому» СНиП 2.03.01-84. Возникает вопрос, чем вызвана такая заметная разница и какая из методик даёт более достоверные результаты? Данная статья направлена на поиск ответа на поставленный вопрос. Для этого подробно рассмотрен физический смысл коэффициента γ с привлечением нелинейной деформационной модели нормального сечения. Получена расчётная формула для γ в зависимости от степени армирования элемента, справедливая для бетонов обычных классов В15-В35. Проведено сравнение расчётного момента трещинообразования по предложенной методике с экспериментами других авторов. Установлено хорошее совпадение результатов.*

Ключевые слова: железобетон, момент трещинообразования, коэффициент пластичности, пластический момент сопротивления.

Введение. Для момента трещинообразования изгибаемых железобетонных элементов в отечественной научно-технической и нормативной литературе известна формула:

$$M_{crc} = R_{bt} W_{pl}, \quad (1)$$

где R_{bt} – нормативная прочность бетона при растяжении; W_{pl} – упругопластический момент сопротивления сечения, равный

$$W_{pl} = \gamma W_{red}, \quad (2)$$

где W_{red} – упругий момент сопротивления приведённого сечения; γ – коэффициент пластичности.

Впервые она была предложена в работе [1] и после вошла в российские Нормы по проектированию железобетонных конструкций. Однако значение коэффициента γ для прямоугольных сечений в СНиП 2.03.01-84* было принято равным 1,75, а в актуализированном СП 63.13330.2012 – равно 1,3. Разница в значениях составляет почти 35 %. В связи с этим возникает вопрос: по какой методике считать? какая из них даёт более близкие к эксперименту результаты?

При этом стоит заметить, что в европейских нормах, как описано в [2], такого понятия как «расчёт на образование трещин» нет, а для фигурирующего в расчётах деформаций момента появления трещин не приведено никакого математического выражения. В руководстве к Еврокоду 2 [3] этот момент предлагается определять приближенно, как для упругого тела, причём рассматривая только бетонное сечение и исключая арматуру (в таком случае коэффициент $\gamma=1,0$). Такой же подход

принят и в американской научно-технической и нормативной литературе [4].

Методология. К ответу на поставленный выше вопрос подойдём двояко:

1 – теоретически: произведём аналитический разбор формул (1) и (2) с использованием общих принципов сопротивления материалов и механики железобетона;

2 – практически: выполним сравнение результатов расчёта по двум методикам с известными в научной литературе опытными данными для M_{crc} .

Основная часть. Расчёт упругого момента сопротивления приведённого сечения – W_{red} – одинаков в обеих методиках и основывается на известных выражениях сопротивления однонаправленных композитов. При выводе формулы упругопластического момента сопротивления сечения – W_{pl} – могут быть нюансы, поскольку напрямую этот параметр в методиках не вычисляется. Поэтому для получения расчётного выражения W_{pl} за основу примем допущения методики СНиП 2.03.01-84* и рассмотрим рис. 1, на котором показаны схема усилий, напряжений и деформаций для бетонного и железобетонного сечений, находящихся в стадии Ia НДС. Вначале выполним анализ для неармированного сечения. Для этого запишем два уравнения равновесия (принимая $M = M_{crc}$), одно совместности деформаций и два физических соотношения соответственно:

$$M_{crc} - N_{bt} \frac{h}{4} - N_b \frac{h}{3} = 0 \quad (3)$$

$$N_{bt} - N_b = 0 \quad (4)$$

$$\varepsilon_b = \varepsilon_{bt2} \quad (5)$$

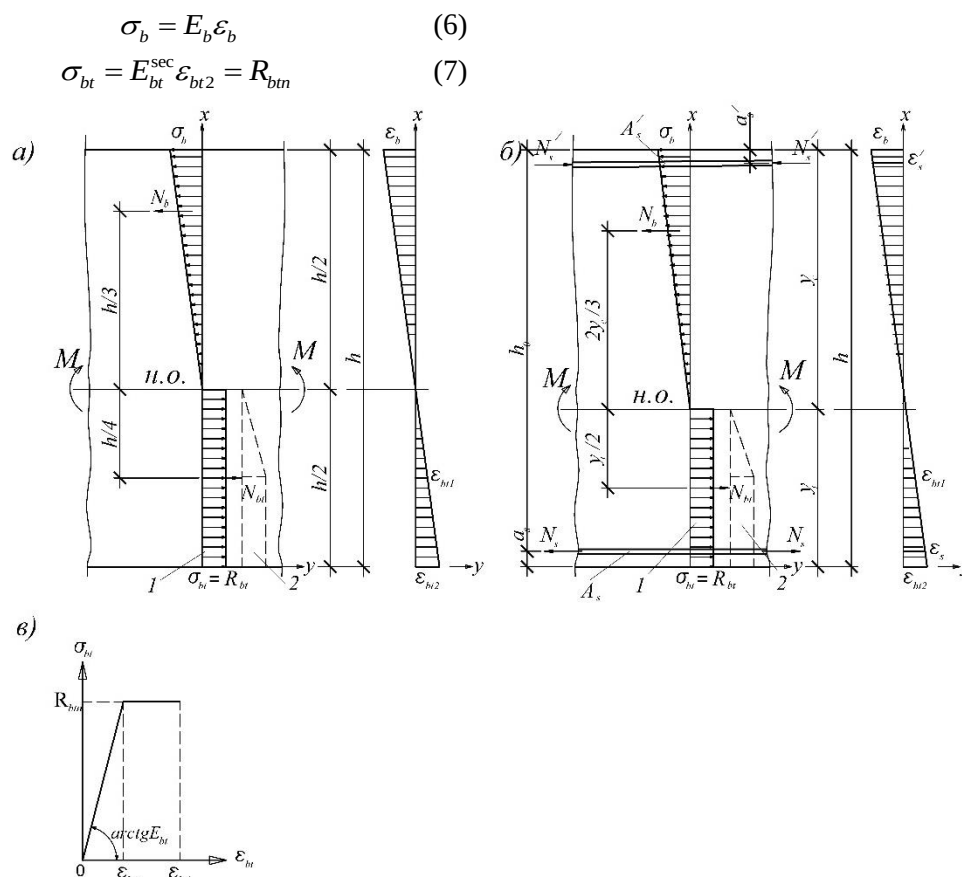


Рис. 1. Схемы усилий, напряжений и деформаций бетонного сечения (а) и железобетонного (б); диаграмма деформирования бетона в растянутой зоне (в): 1 – эпюра нормальных напряжений в растянутой зоне бетона по СНиП 2.03.01-84*; 2 – то же по СП 63.13330.2012

При этом выражение (5) получается из подобия соответствующих геометрических фигур – треугольников – на эпюре деформаций. Необходимо также записать дополнительное физическое соотношение для растянутого бетона в конце стадии I:

$$\sigma_{bt} = E_{bt} \varepsilon_{bt1} = R_{btm} \quad (8)$$

Переходя от усилий к напряжениям в формуле (3), получим:

$$M_{crc} = R_{btm} b \frac{h}{2} \frac{h}{4} + \sigma_b \frac{1}{2} b \frac{h}{2} \frac{h}{3} \quad (9)$$

Для дальнейших рассуждений примем следующее выражение, характеризующее диаграмму деформирования рис. 1, в:

$$\varepsilon_{bt2} = k \varepsilon_{bt1}, \quad (10)$$

где k – некий коэффициент, который, как показывает анализ расчётных предпосылок СНиП 2.03.01-84*, может быть принят равным 2. Его введение позволяет в дальнейших расчётах использовать только нормируемый модуль E_{bt} и исключить секущий E_{bt}^{sec} .

Из условия (5) вытекает $\varepsilon_b = k \varepsilon_{bt1}$, а из (8):

$$\varepsilon_{bt1} = \frac{R_{btm}}{E_{bt}}. \text{ В рассматриваемой методике присут-}$$

ствует ещё одно допущение: $E_{bt} = E_b$. Поставляя полученные выражения в (6), будем иметь:

$$\sigma_b = k R_{btm} \quad (11)$$

Подставляя (11) в (9), придём к следующему выражению: $M_{crc} = R_{btm} b \frac{h}{2} \frac{h}{4} + k R_{btm} \frac{1}{2} b \frac{h}{2} \frac{h}{3}$. Сокращая и приводя подобные, получим:

$$M_{crc} = R_{btm} \frac{bh^2}{6} \left(\frac{3}{4} + \frac{k}{2} \right) = R_{btm} W \left(\frac{3}{4} + \frac{k}{2} \right) \quad (12)$$

где $W = \frac{bh^2}{6}$ – упругий момент сопротивления бетонного сечения, а выражение в скобках – есть коэффициент пластических деформаций:

$$\gamma = \left(\frac{3}{4} + \frac{k}{2} \right) \quad (13)$$

В случае $k=2$: $\gamma = 1,75$ и $W_{pl} = \frac{bh^2}{3,5}$, что соответствует ранее полученной Гвоздевым А.А. формуле.

Стоит отметить, что значение $\gamma = 1$ в формуле (13) (т.е. если не учитывать пластические деформации) достигается при $k=0,5$, что некорректно с точки зрения физического смысла этого коэффициента, поскольку в этом случае предельные деформации ε_{bt2} должны совпадать с упругими ε_{bt1} , т.е. должно быть $k=1$. Однако, к такому результату привели изначальные предпосылки методики, упрощающие расчёт.

Сравнительный анализ методик двух Нормативов показывает, что их расчётные предпосылки несколько отличаются. Так, в отличие от «старого» СНиПа в актуализированном СП:

$$M_{crc} = R_{bt} b \left[\frac{1}{2} \frac{h}{2} \frac{\varepsilon_{bt1}}{\varepsilon_{bt2}} \frac{2}{3} \frac{h}{2} \frac{\varepsilon_{bt1}}{\varepsilon_{bt2}} + \frac{h}{2} \left(1 - \frac{\varepsilon_{bt1}}{\varepsilon_{bt2}} \right) \left(\frac{1}{2} \frac{h}{2} \left(1 - \frac{\varepsilon_{bt1}}{\varepsilon_{bt2}} \right) + \frac{h}{2} \frac{\varepsilon_{bt1}}{\varepsilon_{bt2}} \right) \right] + \sigma_b \frac{1}{2} b \frac{h}{2} \frac{h}{3}.$$

Упрощая и подставляя $k = \frac{\varepsilon_{bt2}}{\varepsilon_{bt1}}$, получим:

$$M_{crc} = R_{bt} b \frac{h^2}{8} \left(1 - \frac{1}{3k^2} \right) + \sigma_b b \frac{h^2}{12} \quad (14)$$

По аналогии с предыдущим использовать далее формулу (11), подставляя её в (14), не позволяет предпосылка $E_{bt} \neq E_b$. Поэтому формула (11) должна быть изменена следующим образом:

$$\sigma_b = \frac{E_b}{E_{bt,red}} k R_{bt} = \frac{k}{k_E} R_{bt}, \quad (15)$$

$$M_{crc} = R_{bt} \frac{bh^2}{6} \left[\frac{3}{4} \left(1 - \frac{1}{3k^2} \right) + \frac{k}{2k_E} \right] = R_{bt} W \left[\frac{3}{4} \left(1 - \frac{1}{3k^2} \right) + \frac{k}{2k_E} \right] \quad (16)$$

В этом случае коэффициент пластических деформаций равен:

$$\gamma = \frac{3}{4} \left(1 - \frac{1}{3k^2} \right) + \frac{k}{2k_E} \quad (17)$$

Таким образом, при $k=1,875$ и $k_E = 0,51...0,87$ получим $\gamma = 1,756...2,517$, что не соответствует принятому в актуализированном СП $\gamma = 1,3 - const$. Видимо, значение этого коэффициента взято по каким-то иным соображениям, т.е. вопреки теоретическим предпосылкам, заложенным в методику. Отметим, что если принять $E_{bt} = E_b$, то по формуле (17) $\gamma = 1,62 - const$. А если при этом взять $k=2$, то $\gamma = 1,69 - const$, что

1 – эпюра напряжений в растянутой зоне не прямоугольная, а трапециевидная;

2 – коэффициент

$$k = \frac{\varepsilon_{bt2}}{\varepsilon_{bt1}} = \frac{0,00015}{0,00008} = 1,875 < 2 \quad (\text{в СП}$$

63.13330.2012 для двухлинейной диаграммы используется обозначение $\varepsilon_{bt1,red}$ вместо ε_{bt1});

3 – модуль деформации бетона при растяжении не равен модулю при сжатии – $E_{bt} \neq E_b$

$$(E_{bt} = E_{bt,red} = \frac{R_{bt}}{\varepsilon_{bt1,red}} \approx (0,51...0,87)E_b \text{ в зависимости от класса бетона}).$$

Уточнение первой предпосылки повлияет на выражение (9), которое примет вид:

где k_E – коэффициент, зависящий от класса бетона (для бетонов обычных классов $k_E = 0,51...0,87$; например, для В3,5, В20 и В60 соответственно

$$k_{E3,5} = \frac{R_{bt}}{\varepsilon_{bt1,red} E_b} = \frac{0,39}{0,00008 \cdot 9500} = 0,51,$$

$$k_{E20} = \frac{1,35}{0,00008 \cdot 27500} = 0,61,$$

$$k_{E60} = \frac{2,75}{0,00008 \cdot 39500} = 0,87).$$

Подставляя (15) в (14), будем иметь:

хорошо согласуется с результатами формулы (13) – разница всего 3,7%.

Также стоит отметить, что значение $\gamma=1,0$ в формуле (17) (т.е. если не учитывать пластические деформации) достигается при $k=0,732...0,934$, что, как и в предыдущем случае для формулы (13) некорректно с точки зрения физического смысла этого коэффициента. Однако, если принять $E_{bt} = E_b$, т.е. $k_E = 1$, то получим $k=1$. Тогда методика становится логически непротиворечивой.

Рассуждая совершенно аналогично для армированного элемента (рис. 1, б) придём к следующей формуле для приведённого момента трещинообразования:

$$M_{crc} = R_{bt} \left\{ b \left(\frac{1}{3} k \frac{y_c^3}{y_t} + \frac{1}{2} y_t^2 \right) + \frac{k}{y_t} \frac{E_s}{E_b} \left[A_s (y_t - a_s)^2 + A'_s (y_c - a'_s)^2 \right] \right\} \quad (18)$$

где выражение во внешних скобках – есть упруго-пластический момент сопротивления

приведённого сечения – W_{pl} . Известное выражение для упругого момента сопротивления приведённого сечения:

$$W_{red} = \frac{1}{y_t} \left\{ \left[\frac{bh^3}{12} + bh \left(y_t - \frac{h}{2} \right)^2 \right] + \frac{E_s}{E_b} \left[A_s (y_t - a_s)^2 + A'_s (y_c - a'_s)^2 \right] \right\} \quad (19)$$

позволяет вычислить коэффициент пластических деформаций:

$$\gamma = \frac{W_{pl}}{W_{red}} \quad (20)$$

Если подставить выражения для W_{pl} и W_{red} в (20), то получится довольно громоздкая формула,

которую приводить не будем, но результаты расчёта по ней представим в табличной форме ниже (табл. 1, значения вне скобок). При этом рассмотрены изгибаемые железобетонные элементы только с одиночным армированием в растянутой зоне – стержнями из арматуры, имеющей модуль деформаций равный 200000 МПа.

Таблица 1

Результаты расчёта коэффициента γ

Коэффициент армирования $\mu \times 100 \%$	Класс бетона В, МПа									
	B15	B20	B25	B30	B35	B40	B45	B50	B55	B60
0,1	1,760 (1,617)	1,759 (1,607)	1,758 (1,599)	1,757 (1,590)	1,757 (1,581)	1,757 (1,575)	1,756 (1,569)	1,756 (1,561)	1,756 (1,555)	1,756 (1,549)
0,5	1,793 (1,738)	1,788 (1,710)	1,785 (1,691)	1,783 (1,672)	1,781 (1,657)	1,780 (1,646)	1,779 (1,636)	1,778 (1,624)	1,778 (1,615)	1,777 (1,606)
1	1,825 (1,857)	1,818 (1,814)	1,813 (1,786)	1,809 (1,759)	1,806 (1,736)	1,804 (1,721)	1,803 (1,708)	1,802 (1,691)	1,801 (1,679)	1,800 (1,668)
3	1,900 (2,133)	1,890 (2,072)	1,884 (2,029)	1,878 (1,987)	1,874 (1,951)	1,871 (1,927)	1,869 (1,905)	1,867 (1,879)	1,865 (1,859)	1,864 (1,842)
5	1,936 (2,258)	1,927 (2,201)	1,921 (2,157)	1,915 (2,112)	1,911 (2,073)	1,908 (2,045)	1,906 (2,020)	1,904 (1,990)	1,902 (1,967)	1,901 (1,947)
10	1,971 (2,353)	1,965 (2,324)	1,962 (2,291)	1,958 (2,253)	1,955 (2,215)	1,952 (2,189)	1,951 (2,163)	1,949 (2,130)	1,948 (2,105)	1,947 (2,082)

Кроме того, в табл. 1 в скобках приведены значения γ , вычисленные по диаграммной методике [5, 6].

По полученным данным можно сделать следующие выводы:

– для рассмотренных железобетонных элементов коэффициент пластических деформаций получился больше, чем для бетонных – до 12,6 % ($\gamma > 1,75$);

– такой не учёт влияния арматуры на пластические деформации растянутого бетона в Нормах занижает значение момента трещинообразования и, как следствие, в некоторых случаях должен приводить к заметному перерасходу материалов;

– с увеличением класса бетона по прочности коэффициент γ уменьшается, но незначительно, оставаясь практически постоянным, поэтому за расчётное значение этого коэффициента можно принять величину, соответствующую максимальному нормируемому классу бетона (для рассмотренных элементов – В60);

– с увеличением процента армирования от 0,1 % до 10 % коэффициент γ увеличивается до 12,0 %;

– диаграммная методика [5, 6] отличается по γ от предложенных формул (19,20) на +19,4...-12,3 %, что зависит от класса бетона и коэффициента армирования;

– несмотря на заметное различие в значениях γ в обоих подходах неизменно сохраняется общая для них тенденция: с увеличением класса бетона γ несколько понижается, а с увеличением процента армирования – γ растёт, причём существенно.

На основе полученных теоретических результатов и с учётом выполненного сравнения с экспериментами для уточнения значения коэффициента γ предлагается следующая зависимость:

$$\gamma = \begin{cases} 1,6 + \frac{1}{100\sqrt{\mu_s}}, & \text{если } \mu_s \geq 0,003 \\ 1,6, & \text{если } \mu_s < 0,003 \end{cases} \quad (21)$$

При этом $\gamma = 1,75$ только при $\mu_s = 0,00444$.

Перейдём к практической части работы: сравнению полученных теоретических результатов с экспериментальными данными. Сравнение представлено в таблице 2.

Таблица 2

Сравнение теоретических и экспериментальных данных M_{crc} , кН·м

Источник	Шифр балки и сечение	Бетон	Арматура	Схема армирования	M_{crc}^{ex} , кН·м	M_{crc}^{th} , кН·м		
						$\gamma = 1,3$	$\gamma = 1,75$	γ по ф. (21)
Пирадов К.А. [7]	1БН-9в 100×75мм	B25, $R_{bt,ser}=2,12$ МПа, $E_b=26500$ МПа	А-III (А400), $E_s=200000$ МПа	1Ø8, $a_s=25$ мм, $\mu_s = 0,0067$	0,27 ($\gamma^{ex}=0,959$)	0,366	0,492	0,484 ($\gamma=1,722$)
	2БН-3в 100×75мм			2Ø8, $a_s=25$ мм, $\mu_s = 0,0134$	0,27 ($\gamma^{ex} = 0,909$)	0,386	0,520	0,501 ($\gamma=1,686$)
	3БН-5в 100×75мм			2Ø10, $a_s=25$ мм, $\mu_s = 0,0209$	0,54 ($\gamma^{ex} = 1,721$)	0,408	0,549	0,523 ($\gamma=1,669$)
Вагагин С.С. [8]	БО-I-3а 200×102мм	B45, $R_{bt,ser}=2,50$ МПа, $E_b=34200$ МПа	А-III (А400), $E_s=208000$ МПа	2Ø25, $a_s=38$ мм, $\mu_s = 0,0481$	2,162 ($\gamma^{ex} = 0,867$)	3,242	4,364	4,103 ($\gamma=1,652$)
	БО-I-3б 201×100мм			2Ø25, $a_s=34$ мм, $\mu_s = 0,0491$	3,192 ($\gamma^{ex} = 1,237$)	3,355	4,517	4,103 ($\gamma=1,645$)
	БС-I-5а 202×103мм		А-III (А400), $E_s=201000$ МПа	2Ø12+2Ø12, $a_s=18$ мм, $a'_s=30$ мм, $\mu_s = 0,0109$	3,026 ($\gamma^{ex} = 1,402$)	2,805	3,776	3,659 ($\gamma=1,696$)
	БС-I-5б 201×125мм			2Ø12+2Ø12, $a_s=22$ мм, $a'_s=24$ мм, $\mu_s = 0,0109$	3,585 ($\gamma^{ex} = 1,432$)	3,255	4,382	4,271 ($\gamma=1,705$)
	БО-II-2а 201×101мм	B55, $R_{bt,ser}=2,51$ МПа, $E_b=37500$ МПа	А-III (А400), $E_s=203000$ МПа	4Ø14, $a_s=47$ мм, $\mu_s = 0,0306$	2,203 ($\gamma^{ex} = 1,066$)	2,687	3,617	3,426 ($\gamma=1,657$)
	БО-II-2б 201×101мм			4Ø14, $a_s=42$ мм, $\mu_s = 0,0306$	2,407 ($\gamma^{ex} = 1,132$)	2,764	3,721	3,524 ($\gamma=1,657$)
	БО-II-4а 202×100мм		А-III (А400), $E_s=203000$ МПа	1Ø28, $a_s=32$ мм, $\mu_s = 0,0308$	2,367 ($\gamma^{ex} = 1,045$)	2,944	3,963	3,753 ($\gamma=1,657$)
	БО-II-4б 201×99мм			1Ø28, $a_s=40$ мм, $\mu_s = 0,0308$	2,040 ($\gamma^{ex} = 0,961$)	2,757	3,705	3,508 ($\gamma=1,657$)
	БО-II-5а 200×102мм		А-III (А400), $E_s=201000$ МПа	6Ø12, $a_s=37$ мм, $\mu_s = 0,0333$	2,530 ($\gamma^{ex} = 1,136$)	2,895	3,897	3,685 ($\gamma=1,655$)
	БО-II-5б 202×104мм			6Ø12, $a_s=43$ мм, $\mu_s = 0,0333$	2,079 ($\gamma^{ex} = 0,935$)	2,890	3,890	3,680 ($\gamma=1,656$)
	БО-III-1а 205×105мм	B90, $R_{bt,ser}=2,78$ МПа, $E_b=40700$ МПа	А-III (А400), $E_s=201000$ МПа	1Ø12, $a_s=29$ мм, $\mu_s = 0,0055$	2,383 ($\gamma^{ex} = 1,101$)	2,813	3,786	3,760 ($\gamma=1,738$)
	БО-III-1б 200×100мм			1Ø12, $a_s=24$ мм, $\mu_s = 0,0055$	2,360 ($\gamma^{ex} = 1,191$)	2,576	3,468	3,434 ($\gamma=1,733$)
Тошин Д.С. [9]	Б-1 204×120мм	B22,5, $R_{bt,ser}=1,5$ МПа, $E_b=28500$ МПа	А-III (А400), $E_s=205000$ МПа	2Ø8, $a_s=25$ мм, $\mu_s = 0,0041$	2,735 ($\gamma^{ex} = 2,043$)	1,740	2,343	2,351 ($\gamma=1,756$)
	Б-2 202×118мм			2Ø8+2Ø8, $a_s=25$ мм, $a'_s=25$ мм, $\mu_s = 0,0047$	2,169 ($\gamma^{ex} = 1,637$)	1,726	2,324	2,329 ($\gamma=1,749$)
	Б-3 202×120мм			2Ø12+2Ø8, $a_s=25$ мм, $a'_s=25$ мм, $\mu_s = 0,0113$	2,574 ($\gamma^{ex} = 1,762$)	1,899	2,556	2,488 ($\gamma=1,704$)
Нугужин Ж.С. [10]	Б-31-1А 273×151мм	B32,5, $R_{bt,ser}=1,807$ МПа, $E_b=24700$ МПа	А-IV (А600), $E_s=212000$ МПа	2Ø12+2Ø6, $a_s=30$ мм, $a'_s=30$ мм, $\mu_s = 0,0052$	8,5 (7,72)* ($\gamma^{ex} = 2,007$)	5,0	6,731	6,674 ($\gamma=1,735$)
	Б-31-1Б 275×148мм	B32,5, $R_{bt,ser}=1,807$ МПа, $E_b=24700$ МПа	А-IV (А600), $E_s=195000$ МПа	2Ø12+2Ø6, $a_s=30$ мм, $a'_s=30$ мм, $\mu_s = 0,0052$	8,5 (7,64)* ($\gamma^{ex} = 2,012$)	4,935	6,643	6,583 ($\gamma=1,734$)
	Б-31-2А 275×150мм	B32,5, $R_{bt,ser}=1,938$ МПа, $E_b=24200$ МПа	А-IV (А600), $E_s=194000$ МПа	2Ø12+2Ø6, $a_s=20$ мм, $a'_s=20$ мм, $\mu_s = 0,0052$	8,5 (7,8)* ($\gamma^{ex} = 1,882$)	5,387	7,252	7,19 ($\gamma=1,735$)
	Б-31-2Б 281×148мм	B32,5, $R_{bt,ser}=1,938$ МПа, $E_b=24200$ МПа	А-IV (А600), $E_s=208000$ МПа	2Ø12+2Ø6, $a_s=30$ мм, $a'_s=30$ мм, $\mu_s = 0,0061$	8,5 (7,63)* ($\gamma^{ex} = 1,779$)	5,574	7,503	7,442 ($\gamma=1,736$)
	Б-31-3А 281×150мм	B32,5, $R_{bt,ser}=2,014$ МПа, $E_b=24500$ МПа	А-IV (А600), $E_s=191000$ МПа	2Ø12+2Ø6, $a_s=30$ мм, $a'_s=30$ мм, $\mu_s = 0,0051$	8,5 (7,6)* ($\gamma^{ex} = 1,704$)	5,797	7,804	7,744 ($\gamma=1,737$)

Источник	Шифр балки и сечение	Бетон	Арматура	Схема армирования	M_{crc}^{ex} , кН·м	M_{crc}^{th} , кН·м		
						$\gamma = 1,3$	$\gamma = 1,75$	γ по ф. (21)
	Б-31-3Б 275×150мм	B32,5, $R_{bt,ser}=2,014$ МПа, $E_b=24500$ МПа	A-IV (A600), $E_s=192000$ МПа	2Ø12+2Ø6, $a_s=30$ мм, $a'_s=30$ мм, $\mu_s = 0,0053$	8,5 (7,68)* ($\gamma^{ex} = 1,817$)	5,496	7,398	7,335 ($\gamma=1,785$)
	Б-32-1А 273×150мм	B35, $R_{bt,ser}=2,115$ МПа, $E_b=30800$ МПа	A-IV (A600), $E_s=205000$ МПа	2Ø18+2Ø6, $a_s=20$ мм, $a'_s=20$ мм, $\mu_s = 0,0134$	9,25 (7,85)* ($\gamma^{ex} = 1,578$)	6,468	8,707	8,407 ($\gamma=1,690$)
	Б-32-1Б 275×149мм	B35, $R_{bt,ser}=2,115$ МПа, $E_b=30800$ МПа	A-IV (A600), $E_s=198000$ МПа	2Ø18+2Ø6, $a_s=30$ мм, $a'_s=30$ мм, $\mu_s = 0,0134$	9,25 (7,8)* ($\gamma^{ex} = 1,615$)	6,280	8,454	8,140 ($\gamma=1,685$)
	Б-32-2А 276×150мм	B35, $R_{bt,ser}=2,24$ МПа, $E_b=30800$ МПа	A-IV (A600), $E_s=215000$ МПа	2Ø18+2Ø6, $a_s=30$ мм, $a'_s=30$ мм, $\mu_s = 0,0132$	9,25 (8)* ($\gamma^{ex} = 1,521$)	6,836	9,202	8,863 ($\gamma=1,686$)
	Б-32-2Б 277×148мм	B35, $R_{bt,ser}=2,24$ МПа, $E_b=30800$ МПа	A-IV (A600), $E_s=206000$ МПа	2Ø18+2Ø6, $a_s=30$ мм, $a'_s=30$ мм, $\mu_s = 0,0134$	9,25 (8,12)* ($\gamma^{ex} = 1,563$)	6,754	9,093	8,756 ($\gamma=1,685$)
	Б-32-3А 280×150мм	B35, $R_{bt,ser}=2,23$ МПа, $E_b=32000$ МПа	A-IV (A600), $E_s=203000$ МПа	2Ø18+2Ø6, $a_s=20$ мм, $a'_s=20$ мм, $\mu_s = 0,0129$	9,25 (8,39)* ($\gamma^{ex} = 1,541$)	7,08	9,531	9,183 ($\gamma=1,686$)
	Б-32-3Б 283×148мм	B35, $R_{bt,ser}=2,23$ МПа, $E_b=32000$ МПа	A-IV (A600), $E_s=199000$ МПа	2Ø18+2Ø6, $a_s=30$ мм, $a'_s=30$ мм, $\mu_s = 0,0129$	9,25 (7,8)* ($\gamma^{ex} = 1,466$)	6,916	9,310	8,97 ($\gamma=1,686$)
	Б-81-1А 284×153мм	B100, $R_{bt,ser}=3,762$ МПа, $E_b=38200$ МПа	A-IV (A600), $E_s=194000$ МПа	3Ø12+2Ø6, $a_s=30$ мм, $a'_s=30$ мм, $\mu_s = 0,0075$	13,75 (10,26)* ($\gamma^{ex} = 1,192$)	11,189	15,062	14,673 ($\gamma=1,705$)
	Б-81-1Б 285×150мм	B100, $R_{bt,ser}=3,762$ МПа, $E_b=38200$ МПа	A-IV (A600), $E_s=207000$ МПа	3Ø12+2Ø6, $a_s=30$ мм, $a'_s=30$ мм, $\mu_s = 0,0076$	13 (10,26)* ($\gamma^{ex} = 1,197$)	11,143	15	14,605 ($\gamma=1,704$)
	Б-81-2А 283×152мм	B100, $R_{bt,ser}=3,868$ МПа, $E_b=41000$ МПа	A-IV (A600), $E_s=197000$ МПа	3Ø12+2Ø6, $a_s=30$ мм, $a'_s=30$ мм, $\mu_s = 0,0075$	13 (9,52)* ($\gamma^{ex} = 1,096$)	11,294	15,203	14,805 ($\gamma=1,704$)
	Б-81-2Б 287×151мм	B100, $R_{bt,ser}=3,868$ МПа, $E_b=41000$ МПа	A-IV (A600), $E_s=196000$ МПа	3Ø12+2Ø6, $a_s=30$ мм, $a'_s=30$ мм, $\mu_s = 0,0076$	13,75 (9,52)* ($\gamma^{ex} = 1,073$)	11,532	15,524	15,122 ($\gamma=1,705$)
	Б-81-3А 284×154мм	B100, $R_{bt,ser}=3,811$ МПа, $E_b=42700$ МПа	A-IV (A600), $E_s=207000$ МПа	3Ø12+2Ø6, $a_s=20$ мм, $a'_s=20$ мм, $\mu_s = 0,0075$	15,25 (9,86)* ($\gamma^{ex} = 1,112$)	11,529	15,519	15,121 ($\gamma=1,705$)
	Б-81-3Б 283×151мм	B100, $R_{bt,ser}=3,811$ МПа, $E_b=42700$ МПа	A-IV (A600), $E_s=196000$ МПа	3Ø12+2Ø6, $a_s=30$ мм, $a'_s=30$ мм, $\mu_s = 0,0077$	13,75 (9,86)* ($\gamma^{ex} = 1,164$)	11,013	14,825	14,435 ($\gamma=1,704$)
	Б-82-1А 276×151мм	B100, $R_{bt,ser}=3,771$ МПа, $E_b=39200$ МПа	A-IV (A600), $E_s=199000$ МПа	(2Ø18+ +2Ø12)+2Ø6, $a_s=30$ мм, $a'_s=30$ мм, $\mu_s = 0,0176$	13,75 (12,6)* ($\gamma^{ex} = 1,407$)	11,644	15,674	14,980 ($\gamma=1,673$)
	Б-82-1Б 280×140мм	B100, $R_{bt,ser}=3,771$ МПа, $E_b=39200$ МПа	A-IV (A600), $E_s=197000$ МПа	(2Ø18+ +2Ø12)+2Ø6, $a_s=30$ мм, $a'_s=30$ мм, $\mu_s = 0,0175$	13,75 (12,6)* ($\gamma^{ex} = 1,457$)	11,238	15,128	14,439 ($\gamma=1,670$)
	Б-82-2А 279×150мм	B100, $R_{bt,ser}=3,837$ МПа, $E_b=36800$ МПа	A-IV (A600), $E_s=208000$ МПа	(2Ø18+ +2Ø12)+2Ø6, $a_s=30$ мм, $a'_s=30$ мм, $\mu_s = 0,0176$	13 (12,2)* ($\gamma^{ex} = 1,291$)	12,289	16,543	15,812 ($\gamma=1,673$)
	Б-82-2Б 278×152мм	B100, $R_{bt,ser}=3,874$ МПа, $E_b=36800$ МПа	A-IV (A600), $E_s=197000$ МПа	(2Ø18+ +2Ø12)+2Ø6, $a_s=30$ мм, $a'_s=30$ мм, $\mu_s = 0,0175$	13 (11)* ($\gamma^{ex} = 1,162$)	12,306	16,565	15,837 ($\gamma=1,673$)
	Б-82-3А 279×152мм	B100, $R_{bt,ser}=3,774$ МПа, $E_b=35800$ МПа	A-IV (A600), $E_s=196000$ МПа	(2Ø18+ +2Ø12)+2Ø6, $a_s=30$ мм, $a'_s=30$ мм, $\mu_s = 0,0174$	13,75 (12,2)* ($\gamma^{ex} = 1,307$)	12,136	16,337	15,620 ($\gamma=1,673$)
	Б-82-3Б 275×148мм	B100, $R_{bt,ser}=3,774$ МПа, $E_b=35800$ МПа	A-IV (A600), $E_s=190000$ МПа	(2Ø18+ +2Ø12)+2Ø6, $a_s=30$ мм, $a'_s=30$ мм, $\mu_s = 0,0182$	13,75 (12,4)* ($\gamma^{ex} = 1,394$)	11,559	15,561	14,864 ($\gamma=1,672$)

Источник	Шифр балки и сечение	Бетон	Арматура	Схема армирования	M_{crc}^{ex} , кН·м	M_{crc}^{th} , кН·м		
						$\gamma = 1,3$	$\gamma = 1,75$	γ по ф. (21)
Уманский А.М. [11]	НсМ-1 100×100	B40, $R_{bt,ser}=2,36$ МПа, $E_b=33152$ МПа	A-III (A400), $E_s=213000$ МПа	2Ø8, $a_s=20$ мм, $\mu_s = 0,01$	0,658 ($\gamma^{ex} = 1,514$)	0,565	0,761	0,739 ($\gamma=1,7$)
Шарафутдинов Л.А. [12]	Б-2 220×120	B25, $R_{bt,ser}=2,074$ МПа, $E_b=30000$ МПа	A400, $E_s=200000$ МПа	2Ø10, $a_s=30$ мм, $\mu_s = 0,06$	«-» (3,380)* ($\gamma^{ex} = 1,543$)	2,847	3,932	3,778 ($\gamma=1,73$)
Atıvalagan S. [13]	NWC 150×150	B25, $R_{bt,ser}=2,187$ МПа, $E_b=30000$ МПа	A400, $E_s=200000$ МПа	2Ø12, $a_s=16$ мм, $\mu_s = 0,01$	«-» (2,500)* ($\gamma^{ex} = 1,543$)	1,846	2,547	2,475 ($\gamma=1,7$)

Примечания:

1 – * – Вне скобок даны значения моментов трещинообразования, установленных визуально; в скобках – значения моментов, определенных по перелому графика зависимости момента от кривизны.

2 – Серым цветом закрашены ячейки таблицы, в которых приведены значения теоретических моментов, наилучшим образом соответствующие эксперименту.

3 – γ^{ex} – коэффициент пластичности, полученный сравнением экспериментального значения момента трещинообразования с упругим расчётом по формуле $\gamma^{ex} = \frac{M_{crc}^{ex}}{M_{crc}^{th,e}}$.

4 – В некоторых строках не закрашена ни одна ячейка, т.к. $\gamma^{ex} < 1$, поэтому данные эксперимента в строке не могут быть использованы для сравнения.

Выводы:

1 – в целом близкие к эксперименту показали результаты расчёта по предложенной формуле (21), за исключением случаев с высокопрочным бетоном, где может быть применён подход СП 16.13330.2012;

2 – такое существенное влияние прочности бетона на результат противоречит ранее полученным теоретическим выводам (см. анализ таблицы 1) и должно быть учтено в формуле для γ после дополнительного более обстоятельного и масштабного изучения экспериментальных данных (поэтому область применения формулы (21) ограничена пока обычными бетонами В15-В35);

3 – таким образом, для бетонов классов В35-В100 на данном этапе исследований можно рекомендовать подход СП 16.13330.2012;

4 – подход СНИП 2.03.01-84* является частным случаем предложенной формулы (21) и не учитывает влияние не только прочности бетона, но и наличие арматуры в сечении, поэтому при сравнении с экспериментом даёт погрешность от +64 % до -17 %;

5 – экспериментально установлена роль арматуры при определении γ , которая опровергает ранее выявленную теоретически закономерность (см. анализ результатов табл. 1): с увеличением процента армирования от 0,4 % до 3,1 % коэффициент γ^{ex} не растёт, а падает, причём значительно – в 1,9 раза. Это обстоятельство требует проведения дополнительных исследований.

Источник финансирования. Программа фундаментальных научных исследований (ФНИ) Минстроя России и РААСН в области архитектуры, градостроительства и строительных наук на 2018 год.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гвоздев А.А., Дмитриев С.А. К расчёту предварительно напряженных железобетонных и бетонных сечений по образованию трещин // Бетон и железобетон. 1957. № 5. С. 205–211.
2. Алмазов В.О. Проектирование железобетонных конструкций по евронормам. М.: ЛитРес, 2016. 217 с.

3. Биби Э.В., Нароян Р.С. Руководство для проектировщиков к Еврокоду 2: проектирование железобетонных конструкций. М.: МГСУ, 2013. 292 с.

4. Tyler G. Hicks. Civil engineering formulas, 3d ed. New-York: McGRAW-HILL, 2016. 472 p.

5. Карпенко Н.И., Соколов Б.С., Радайкин О.В. Совершенствование методики расчета изгибаемых железобетонных элементов без предварительного напряжения по образованию нормальных трещин // Строительные материалы. 2013. № 6. С. 54–55.

6. Карпенко Н.И., Радайкин О.В. К совершенствованию диаграмм деформирования бетона для определения момента трещинообразования и разрушающего момента в изгибаемых железобетонных элементах // Строительство и реконструкция. 2012. №3(41). С. 10–17.

7. Пирадов К.А. Теоретические и экспериментальные основы механики разрушения бетона и железобетона. Тбилиси, 1998. 355 с.

8. Ватагин С.С. Связь между напряжениями и деформациями бетона в сжатой зоне железобетонных элементов. Интегральная оценка работы растянутого бетона: дисс. канд. техн. наук. Киев: НИИСК, 1986. 134 с.

9. Тошин Д. С. Нелинейный расчет деформаций изгибаемых железобетонных элементов

при разгрузке с применением деформационной модели: дисс. канд. техн. наук. Тольятти, 2009. 132 с.

10. Нугужин Ж.С. Деформации и ширина раскрытия трещин изгибаемых железобетонных элементов при многократно повторных нагружениях: дисс. канд. техн. наук. М.: НИИЖБ, 1986. 197 с.

11. Уманский А.М. Совершенствование методов расчета конструкций морских гидротехнических сооружений из композитбетона с использованием базальтопластиковой арматуры: дисс. канд. техн. наук. Владивосток: Дальневосточный федеральный университет (ДВФУ), 2017. 173 с.

12. Шарафутдинов Л.А. Совершенствование методики расчета усиления изгибаемых железобетонных элементов сталефибробетоном с применением нелинейной деформационной модели: дис. магист. техн. и технолог. Казань: Казанский государственный архитектурно-строительный университет, 2017. 156 с.

13. Arivalagan S. Flexural Behaviour of Reinforced Concrete Beam Containing Steel Slag as Coarse Aggregate // International Journal of Structural and Civil Engineering. 2012. Vol. 1. Issue 1. Pp. 1–10.

Информация об авторах

Радайкин Олег Валерьевич, кандидат технических наук, доцент кафедры железобетонных и каменные конструкции.

E-mail: olegxxii@mail.ru.

Казанский государственный архитектурно-строительный университет.

Россия, 420043, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1.

Поступила в февраль 2018 г.

© Радайкин О.В., 2018

O.V. Radaikin

TO DETERMINATION OF THE CRACKING MOMENT FOR BENDING REINFORCED CONCRETE ELEMENTS WITH ACCOUNT OF PLASTIC DEFORMATIONS OF CONCRETE IN THE TENSION AREA

At the standard calculation of the cracking moment for bending reinforced concrete elements the plasticity coefficient γ is normally used, which according to SP 63.13330.2012 is 35% less than in the old SNiP 2.03.01-84. The question arises, what is the reason for such a noticeable difference and which of the methods gives more reliable results? This article seeks to answer this question. For this purpose the physical meaning of the coefficient γ was considered in detail, with the usage of a nonlinear deformation model of a normal section. A calculation formula for γ depending on an element's reinforcement degree was obtained, which is valid for conventional concrete of B15-B35 class. A comparison of the calculated cracking moment according to the proposed method with experiments by the other authors was carried out. A good agreement of results was observed.*

Keywords: reinforced concrete, cracking moment, plasticity coefficient, plastic moment of resistance.

REFERENCES

1. Gvozdev A.A., Dmitriev S.A. To the calculation of prestressed reinforced concrete and a ceramic stage for the formation of the train // Concrete and reinforced concrete, 1957, no. 5, pp. 205–211.

2. Almasov V.O. Design of reinforced concrete structures in accordance with European standards. Moscow: LitRes, 2016, 217 p.

3. Bibi E.V., Narojan R.S. Leadership for the project to Brocade 2: design of concrete structures. Moscow: MGSU, 2013, 292 p.

4. Tyler G. Hicks. Civil engineering formulas, 3d ed. New-York: McGRAW-HILL, 2016, 472 p.
5. Karpenko N.I., Sokolov B.S., Radaikin O.V. Improvement of the calculating method of the the cracking moment of reinforced concrete bending elements without prestressing // *Stroitel'nye Materialy*, 2013, no. 6, pp. 54–55.
6. Karpenko N.I., Radaikin O.V. The improvement of the stress-strain diagram of concrete to determine the moment of cracking and damaging moment in bending reinforced concrete element // *Construction and reconstruction*, 2012, no. 3 (41), pp. 10–17.
7. Piradov K.A. Theoretical and experimental foundations of concrete and reinforced concrete fracture mechanics. Tbilisi, 1998, 355 p.
8. Vatagin S.S. The relation between stress and deformation of concrete in the sitting area of the reinforced concrete elements. Integral assessment of the work of the sprawling concrete. Thesis of technical Sciences. Kyiv: NIICK, 1986, 134 p.
9. Toshin D.S. Nonlinear calculation of deformations of bent reinforced concrete elements during unloading with the use of deformation model. Thesis of technical Sciences. Togliatti, 2009, 132 p.
10. Noginov J.S. Deformation and crack widths of reinforced concrete bending elements when not repeatedly re-loadings. Thesis of technical Sciences. Moscow: NIIZHB, 1986, 197 p.
11. Umansky M.A. Improvement of methods of calculation of structures of marine hydraulic structures of composition using basalt rebar. Thesis of technical Sciences. Vladivostok: Far-Eastern Federal University (FEFU), 201, 173 p.
12. Sharafutdinov L.A. Improved methods of calculating the gain of bendable concrete elements with steel fiber concrete with the use of nonlinear deformation models. Master's thesis. Kazan: Kazan state University of architecture and civil engineering, 2017, 156 p.
13. Arivalagan S. Flexural Behaviour of Reinforced Concrete Beam Containing Steel Slag as Coarse Aggregate // *International Journal of Structural and Civil Engineering*, 2012, vol. 1, issue 1, pp. 1–10.

Information about the author

Oleg V. Radaikin, PhD, Assistant professor.

E-mail: olegxxii@mail.ru.

Kazan State University of Architecture and Engineering.
Russia, 420043, Kazan, Green str., 1.

Received in February 2018

Абдразаков Ф.К., д-р техн. наук, проф.,
Поваров А.В., канд. техн. наук, доц.

Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова

ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИЧИН ПЕРЕУВЛАЖНЕНИЯ УТЕПЛЕННЫХ ФАСАДОВ МНОГОКВАРТИРНЫХ ДОМОВ г. САРАТОВА

povarov-av2012@yandex.ru

При резком падении температуры наружного воздуха значительно увеличиваются тепловые потери через увлажненные наружные стены многоквартирных домов г. Саратова, утепленных по технологии «мокрый фасад». Данные теплотери на 10–20 % превышают нормативные значения. Также происходит ухудшение параметров микроклимата в помещениях квартир. Для устранения неблагоприятных последствий проводилось исследование процессов, происходящих в переувлажненных наружных каменных стенах многоквартирных домов, имеющих продолжительный срок эксплуатации. Были определены теплоэнергетические параметры увлажненного и промерзшего слоев стен. Полученные теоретические зависимости сопротивления теплопередачи находящегося в зоне отрицательных температур увлажненного слоя каменной стены, и теплотерия через данную стену, от объемной влажности и плотности силикатного кирпича, позволили получить необходимые поправочные коэффициенты, увеличивающие точность расчетов необходимого теплоизоляционного слоя, обеспечивающего оптимальный температурно-влажностный режим помещений.

Ключевые слова: многоквартирный дом, параметры микроклимата помещений, теплоизоляционные материалы, коэффициент теплопроводности, поправочный коэффициент.

Введение. Осмотр фасадов многоквартирных жилых домов вторичного жилищного фонда г. Саратова показал яркие примеры «точечного» утепления наружных стен по технологии «мокрый фасад», где в качестве теплоизоляционного материала в 84 % случаев применяется пенопласт, толщиной 100 мм и в 16 % случаев пенополистерол, толщиной 50 мм [1].

Несколько многоквартирных домов г. Саратова с «точечным» утеплением были выбраны в качестве объектов исследований с целью выяснения причин появления конденсата, увлажнения и промерзания наружных утепленных кирпичных стен, что привело к ухудшению таких параметров микроклимата помещений квартир, как влажность и температура внутреннего воздуха. Теплотери через данные стены больше нормативных показателей на 10–20 %, что говорит о снижении энергоэффективности рассматриваемых домов [1].

Исследования показали, что переувлажнение наружных каменных стен, утепленных по технологии «мокрый фасад», происходит в результате ошибок на стадии проектирования, монтажа и последующей неправильной эксплуатации жилых многоквартирных домов, связанной с нарушением сроков и технологии проведения ремонтов. Под воздействием низких температур наружный увлажненный слой стен подвергается промерзанию на определенную толщину δ_z , меняющуюся с течением времени [2, 3, 4].

Нормативные данные, изложенные в СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий», практически не позволяют оценить теплопроводность переувлажненного материала ограждающих конструкций, а также зависимость теплопроводности от фазовых превращений влаги в его структуре при тепломассопереносе. Проводилось изучение влияния климатических факторов г. Саратова на теплоизоляционные характеристики наружных каменных стен, которое показало, что в январе имеются значительные колебания амплитуды температуры наружного воздуха и упругостей водяного пара воздушных сред по обе стороны стен домов. Нормативные параметры были взяты из СП 131-13330.2012 «Строительная климатология». Результаты исследований показали большую вероятность интенсивной передачи и накопления парообразной влаги в толще наружных каменных стен, что необходимо учитывать при создании оптимальной системы теплоизоляции.

Теплообменные процессы в переувлажненных стенах зависят от фазовых превращений влаги. Влага, находящаяся в каменной кладке, замерзая, превращается в лед, который при положительных температурах наружного воздуха тает, испаряется, а затем конденсируется. Очевидно, что данное явление приводит к изменению теплофизических показателей силикатного кирпича и кладочного раствора, теплового баланса и снижению энергоэффективности стены, постепенному снижению прочности каменной

кладки, что заметно по внешним признакам тепло-



изоляции каменной стены одного из обследуемых многоквартирных домов г. Саратова (рис. 1).



Рис. 1. Наличие влаги в теплоизоляционном слое фасада многоквартирного дома

Слой теплоизоляции каменной стены, утепленной снаружи, позволяет удерживать ее в зоне положительных температур, что способствует увеличению срока службы стен и дома в целом [5, 6, 7].

В однослойном однородном ограждении, каковым и является каменная стена, влага может подвергаться замерзанию до границы, где линия падения температуры по толщине конструкции стены опускается ниже нуля [8].

Методология. Проводилась оценка теплопроводности увлажнённой каменной кладки домов в конструктивном слое с отрицательной температурой, определялись термическое сопротивление и тепловые потери наружной каменной стены с учётом промерзания силикатного кирпича в климатических условиях г. Саратова.

Исследования проводились в декабре 2017 г. – январе 2018 г. и основывались на использовании модели, учитывающей только промерзание увлажненной каменной кладки из силикатного кирпича и позволяющей оценить изменение коэффициента теплопроводности каменной стены [6, 9, 10].

Были приняты следующие допущения:

- с наступлением периода отрицательных температур на наружной поверхности стены температура понизилась до отрицательной величины;
- в толще стены на подвижной границе промерзания сохраняется температура начала промерзания влаги t_3 ;
- в мерзлой и во влажной зоне каменной стены изменение температуры происходит по линейному закону.

Очевидно, что для длительного и замедленного характера изменения низких температур граница промерзания движется со скоростью близкой к нулю [11, 12]. Исходя из данного утверждения уравнение теплового баланса на

границе мерзлой и влажной зон из условий стационарной теплопередачи, будет иметь следующий вид, Вт/(м·°C) [6]:

$$\lambda_3 \cdot \frac{t_3 - t_n}{\delta_3} - \lambda_b \cdot \frac{t_b - t_3}{\delta - \delta_3} = 0 \quad (1)$$

где t_3 – температура начала замерзания влаги в стене, °C; t_n – температура наружного воздуха, °C; t_b – температура внутреннего воздуха жилых помещений, °C; λ_3 , λ_b – соответственно коэффициенты теплопроводности материала в мерзлой и влажной зонах наружной стены, Вт/(м·°C).

На основании рассмотренного уравнения коэффициенты теплопроводности силикатного кирпича и кладочного раствора в зоне промерзания однослойной однородной стены, Вт/(м·°C) [6, 11]:

$$\lambda_3 = \frac{\lambda_b \cdot (t_b - t_3) \cdot \delta_3}{(t_3 - t_n) \cdot (\delta - \delta_3)} \quad (2)$$

Коэффициент теплопроводности материала влажной зоны стены, Вт/(м·°C) [6, 11]:

$$\lambda_b = \lambda_c \cdot (1 + \omega_0 \cdot \frac{\delta_{\omega}}{100}) \quad (3)$$

где λ_c – коэффициент теплопроводности сухого материала, Вт/(м·°C); ω_0 – влажность рассматриваемого материала, % по объему; δ_{ω} – прирост коэффициента теплопроводности на 1 % влажности материала стены.

Величина прироста коэффициента теплопроводности зависит от вида кирпича стены, его плотности и очень сложно поддается систематизации для получения зависимости теплопроводности кирпича от его влажности [13, 14, 15].

Известно, что в конструкциях наружных каменных стен зданий температура начала замерзания имеющейся влаги колеблется в пределах от –1 °C до –3 °C. Была принята максимально возможная величина δ_3 , находящаяся у границы ну-

левого значения температуры на линии ее распределения по толщине каменной стены [4, 6].

Условия, принятые для проведения исследований:

- толщина кирпичной стены дома стандартная по проекту $\delta = 510$ мм;

- значения коэффициента теплопроводности кирпичной стены λ_b приняты по данным исследований;

- каменная стена оштукатурена с внутренней стороны толщиной $\delta_{ш} = 10$ мм, с коэффициентом теплопроводности $\lambda_{ш} = 0,93$ Вт/(м·°C) для условий Б, приведенных в СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий»;

- температура внутреннего воздуха помещений квартир дома $t_b = 20$ °C;

- коэффициенты теплоотдачи поверхностей кирпичной стены:

внутренней – $\alpha_b = 8,7$ Вт/(м·°C);

наружной – $\alpha_n = 23$ Вт/(м·°C).

В ходе исследований были рассмотрены утепленные наружные каменные стены нескольких домов, выполненные из силикатного кирпича плотностью ρ от 1700 до 2000 кг/м³ при влажности материала до 15 %.

Основная часть. Толщина слоя не утепленной кирпичной стены, который находится в зоне положительных температур [6], составляет, м:

$$\delta_o = \lambda_b \cdot \left(\frac{t_b \cdot R}{t_b - t_n} - \frac{1}{\alpha_b} - \frac{\delta_{ш}}{\lambda_{ш}} \right) = 0,72 \cdot \left(\frac{20 \cdot 0,82}{20 + 25} - \frac{1}{8,7} - \frac{0,01}{0,93} \right) = 0,173 \quad (4)$$

где R_n – термосопротивление кирпичной стены, рассчитанное по нормативным значениям, приведенным в СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий» и равное 0,82 (м²·°C)/Вт.

Толщина слоя не утепленной кирпичной стены, находящегося в зоне отрицательных температур, м:

$$\delta_3 = \delta - \delta_o = 0,51 - 0,173 = 0,337 \quad (5)$$

Расчетное значение коэффициента теплопроводности на основании выражения (2) составляет 1,13 Вт/(м·°C).

Необходимо провести сравнение термического сопротивления наружной стены без учета ее промерзания (R) и с учетом промерзания (R_c) для расчетного значения коэффициента теплопроводности λ_3 , так и для его экспериментального значения $\lambda_3^{экс}$. Также необходимо определить значение тепловых потерь через 1 м² каменной стены.

Тепловые потери через 1 м² каменной стены без учета ее промерзания составляют, Вт:

$$Q = \frac{t_b - t_n}{R} = \frac{(20 + 25)}{0,82} = 54,87 \quad (6)$$

Термическое сопротивление с учетом промерзания кирпичной стены для расчетного значения коэффициента теплопроводности, (м²·°C)/Вт:

$$R_p = \frac{1}{\alpha_b} + \frac{\delta_{ш}}{\lambda_{ш}} + \frac{\delta_o}{\lambda_o} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{1}{\alpha_n} = 0,67 \quad (7)$$

Тогда тепловые потери через 1 м² каменной стены с учетом промерзания для расчетного значения коэффициента теплопроводности, составят, Вт:

$$Q_c = \frac{t_b - t_n}{R_p} = \frac{(20 + 25)}{0,67} = 67,16$$

Таким образом, расхождение тепловых потерь через наружную кирпичную стену с учетом и без учета промерзания относительно расчетного коэффициента теплопроводности составит, %:

$$\Delta Q_p = \frac{Q_c - Q}{Q} \cdot 100 \% = \frac{(67,16 - 54,87)}{54,87} \cdot 100 \% = 22$$

Термическое сопротивление кирпичной стены с учетом ее промерзания для экспериментального значения коэффициента теплопроводности, (м·°C)/Вт:

$$R_c^{экс} = \frac{1}{\alpha_b} + \frac{\delta_{ш}}{\lambda_{ш}} + \frac{\delta_o}{\lambda_o} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{1}{\alpha_n} = 0,59 \quad (8)$$

Тепловые потери через 1 м² каменной стены с учетом ее промерзания для экспериментального значения коэффициента теплопроводности составят, Вт:

$$Q_c^{экс} = \frac{t_b - t_n}{R_c^{экс}} = \frac{(20 + 25)}{0,78} = 76,27 \quad (9)$$

Расхождение тепловых потерь через наружную кирпичную стену с учетом и без учета глубины промерзания стены относительно экспериментально полученного коэффициента теплопроводности составляет, %:

$$\Delta Q_3 = \frac{Q_c^{экс} - Q}{Q} \cdot 100 \% = \frac{(76,27 - 54,87)}{54,87} \cdot 100 \% = 37$$

Расхождение тепловых потерь с учетом промерзания для расчетного и экспериментального значений коэффициента теплопроводности составило, %:

$$\Delta Q = \frac{Q_c^{экс} - Q_c}{Q_c^{экс}} \cdot 100 \% = \frac{(76,27 - 67,16)}{76,27} \cdot 100 \% = 12$$

Анализ полученных значений указывает на возрастание расхождений расчетных и экспериментальных значений коэффициента теплопроводности силикатного кирпича рассматриваемых каменных стен в области значений объемной влажности от 5 до 15 %.

Полученные графические зависимости теплопроводности силикатного кирпича от его плотности и влажности представлены на рис. 2 и 3.

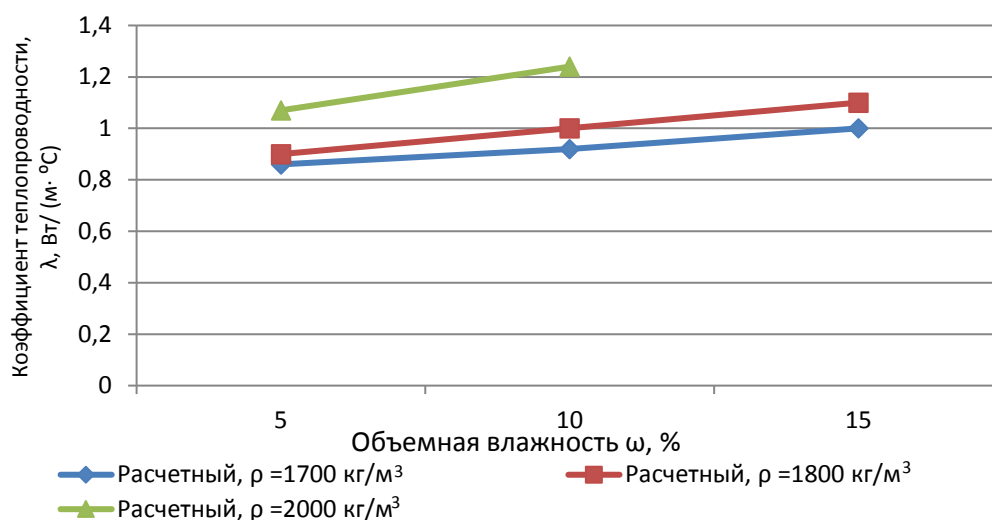


Рис. 2. Зависимость экспериментального коэффициента теплопроводности силикатного кирпича от плотности и влажности

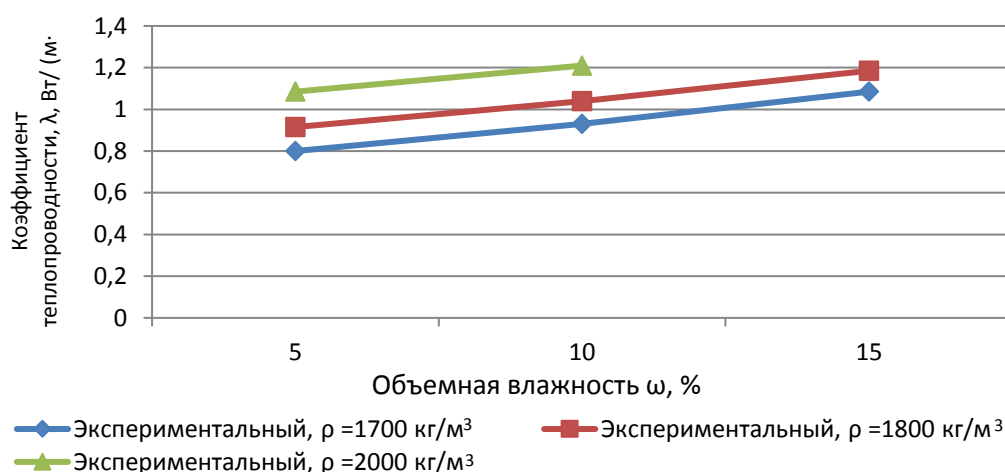


Рис. 3. Зависимость расчетного коэффициента теплопроводности силикатного кирпича от плотности и влажности

Для учета полученного расхождения между расчетными и экспериментальными значениями коэффициента теплопроводности в практических расчетах при создании оптимальной системы теплоизоляции были получены значения поправочных коэффициентов для силикатного кирпича, которые представлены в таблице 1.

Оптимальная толщина необходимого слоя теплоизоляционного материала, соответствующая нормативным параметрам энергосбережения каменных стен домов, определяется исходя из значения термического сопротивления, определенного по выражению 6, и равного $R_p = 0,67$ (м²·°C)/Вт.

Количество градусо-суток отопительного периода составляет, °C·сут/год:

$$G_{\text{СОП}} = (t_b - t_n) \cdot n_{\text{от}} = (20 - (-3,5)) \cdot 188 = 4474 \quad (10)$$

где t_n – средняя температура наружного воздуха,

равная $t_n = -3,5$ °C; $n_{\text{от}}$ – продолжительность отопительного периода, составляющая 188 сут./год. Данные взяты из СП 131-13330.2012 «Строительная климатология».

Полученное значение ГСОП отличается от приведенного в таблице 3 СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий», поэтому пересчет базового значения требуемого сопротивления теплопередаче каменной стены производится по выражению, (м²·°C)/Вт:

$$R_o^{\text{TP}} = a \cdot G_{\text{СОП}} + b = 0,00035 \cdot 4474 + 1,4 = 2,97 \quad (11)$$

где a , b – коэффициенты, принимаемые из таблицы 3 СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий».

Нормируемое значение термического сопротивления кирпичной стены составляет $R_o^{\text{норм}} = 3,01$ (м²·°C)/Вт.

Таблица 1

**Поправочные коэффициенты
для силикатного кирпича**

Плотность, кг/м ³	Влажность, %	Поправочный коэффициент
1700	5	0,73
	10	
	15	
1800	5	0,67
	10	
	15	
2000	5	0,58
	10	

Сравнение полученного расчетного показателя с нормируемым значением показало разницу, равную, (м²·°C)/Вт:

$$\Delta R_0 = 2,97 - 0,67 = 2,3$$

Полученную разницу необходимо компенсировать за счет установки утеплителя, необходимая толщина которого определяется по выражению, м:

$$\delta_y = \lambda_i \cdot \Delta R_0$$

где λ_i – коэффициент теплопроводности утеплителя, Вт/(м °C). Для пенопласта было принято значение $\lambda_{п.}=0,052$ Вт/(м °C), для пенополистерола – $\lambda_{п.п.}=0,041$ Вт/(м °C) (СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий»).

Проведенные исследования показали, что применение в климатических условиях г. Саратова в качестве утеплителя плит пенопласта толщиной 100 мм, вместо расчетных 120 мм, является необоснованным и способствующим переувлажнению и повышенным энергопотерям через наружные каменные стены домов. Применение пенополистерола толщиной 100 мм будет полностью соответствовать нормативным требованиям к теплоизоляции наружных стен (толщиной 510 мм) многоквартирных каменных домов.

Выводы. В результате проведенных исследований были установлены зависимости коэффициента теплопроводности силикатного кирпича в зоне промерзания утепленных наружных каменных стен многоквартирных домов от влажности и плотности. Были получены поправочные коэффициенты расчета коэффициентов теплопроводности силикатного кирпича, введение которых способствует достижению наименьших погрешностей в расчетах оптимальной системы теплоизоляции каменных стен разной плотности и влажности, что позволит повысить их энергоэффективность и улучшить параметры микроклимата в помещениях многоквартирных домов, длительное время эксплуатирующихся в климатических условиях г. Саратова.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Абдразаков Ф.К., Поваров А.В. Состояние вторичного жилищного фонда города Саратова // Исследования в строительстве, теплогазоснабжении и энергообеспечении: Материалы междунар. науч.-практ. конф. Под ред. Ф.К. Абдразакова, (Саратов, 17-18 ноября 2016 г.), Саратов: ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ, 2016. С. 17–20.
2. Абдразаков Ф.К., Поваров А.В. Современные методы обследования технического состояния зданий // Тенденции развития строительства, теплогазоснабжения и энергообеспечения: Материалы междунар. науч.-практ. конф. Под ред. Ф.К. Абдразакова. (Саратов, 17-18 марта 2016 г.), Саратов: ООО «Амирит», 2016. С. 21–25.
3. Куприянов В.Н. Конденсация парообразной влаги в наружных стенах при суточных колебаниях температуры наружного воздуха // Приволжский научный журнал. 2013. №2. С.17–22.
4. Куприянов В.Н., Петров А.С. Влажностное состояние ограждающих конструкций с учетом переменного значения паропроницаемости материалов // Строительные материалы. 2016. № 6. С. 40–43.
5. Абдразаков Ф.К., Поваров А.В., Сирота В.Т. Экологическая экспертиза проекта строительства современного многоэтажного жилого дома // Исследования в строительстве, теплогазоснабжении и энергообеспечении: Материалы междунар. науч.-практ. конф. Под ред. Ф.К. Абдразакова, (Саратов, 17-18 ноября 2016 г.), Саратов: ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ, 2016. С. 13–17.
6. Мальцев А.В., Сорокин Д.С. Энергосбережение в многоэтажных жилых зданиях при инфильтрации воздуха через наружную стену // Новый университет. 2015. № 3–4 (37–38). С. 87–90.
7. Chi Feng, Qinglin Meng, Ya Feng, Hans Janssen. Influence of pre-conditioning methods on the cup test results // 6 th International Building Physics Conference. 2015. Vol. 78. Pp. 1383–1388.
8. Пастушков П.П., Лушин К.И., Павленко Н.В. Отсутствие проблемы выпадения конденсата на внутренней поверхности стен со скрепленной теплоизоляцией // Жилищное строительство. 2014. № 6. С. 42–44.
9. Гайсин А.М., Самоходова С.Ю., Пайметькина А.Ю., Недосеко И.В. Сравнительная оценка удельных теплопотерь через элементы наружных стен жилых зданий, определяемых по различным методикам // Жилищное строительство. 2016. № 5. С. 36–40.
10. Умнякова Н.П., Бутовский И.Н., Чеботова

рев А.Г. Развитие методов нормирования теплозащиты энергоэффективных зданий // Жилищное строительство. 2014. № 7. С. 19–23.

11. Пастушков П.П., Павленко Н.В., Коркина Е.В. Использование расчетного определения эксплуатационной влажности теплоизоляционных материалов // Строительство и реконструкция. 2015. № 4 (60). С. 168–172.

12. Король Е.А., Пугач Е.М., Харькин Ю.А. Влияние технологических факторов на формирование связи слоев многослойной ограждающей конструкции // Вестник МГСУ. 2014. № 3. С. 67–75.

13. Ройфе В.С. Некоторые проблемы определения влажности материалов ограждающих конструкций зданий // Строительные материалы. 2015. № 6. С. 23–25.

14. Черепанов В.И., Некрасова Е.В., Черных Н.А., Панченко Ю.Ф. Водостойкость силикатного кирпича // Строительные материалы. 2013. № 9. С. 10–11.

15. Blanco F., García P., Mateos P., Ayala J. Characteristics and properties of lightweight concrete manufactured with cenospheres // Cement and Concrete Research. 2012. №. 30. Pp. 1715–1722.

Информация об авторах

Абдразаков Фярид Кинжаевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой строительства, теплогазоснабжения и энергообеспечения.

E-mail: abdrzakov.fk@mail.ru

Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова.
Россия, 410012. Саратов, Театральная пл., 1.

Поваров Андрей Владимирович, кандидат технических наук, доцент кафедры строительства, теплогазоснабжения и энергообеспечения.

E-mail: povarov-av2012@yandex.ru

Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова.
Россия, 410012. Саратов, Театральная пл., 1.

Поступила в февраль 2018 г.

© Абдразаков Ф.К., Поваров А.В., 2018

F.K.Abdrazakov, A.V. Povarov

RESEARCH OF THE REASONS FOR EXCESSIVE MOISTENING OF HEAT-INSULATED FACADES OF MULTICOMPARTMENT BUILDINGS IN SARATOV

With a sharp drop of the outside air temperature, the heat losses through the moistened exterior walls of apartment buildings in Saratov insulated using the "wet facade" technology, increase significantly. These heat losses are 10–20 % higher than the normative values. It also causes deterioration in the indoor climate parameters in apartments. In order to eliminate the adverse consequences, a research of the processes taking place in the waterlogged outer stone walls of multi-compartment houses with a long service life was conducted. Thermal energy parameters of the moistened and frozen layers of walls were determined. The obtained theoretical dependences of the heat transfer resistance of the moistened layer of the stone wall in the area of negative temperatures, and the heat losses through this wall, on the volume humidity and density of silicate brick, allowed obtaining the necessary correction factors increasing the accuracy of calculations of the necessary heat-insulating layer providing the optimum temperature and humidity conditions in the premises.

Keywords: apartment house, indoor climate parameters of premises, heat-insulating materials, thermal conductivity coefficient, correction factor.

REFERENCES

1. Abdrazakov F.K., Povarov A.V. The condition of the secondary housing stock of the city of Saratov // Research in construction, heat and gas supply and energy supply: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference. Ed. F.K. Abdrazakova. (Saratov, 17-18 November 2016). Saratov: FGBOU in the Saratov State University, 2016, pp. 17–20.

2. Abdrazakov F.K., Povarov A.V. Modern methods of inspection of the technical condition of

buildings // Trends in the development of construction, heat and gas supply and energy supply: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference. Ed. F.K. Abdrazakova. Saratov: Amirit LLC, 2016, pp. 21–25.

3. Kupriyanov V.N. Condensation of vaporous moisture in the outer walls with diurnal fluctuations in the temperature of the outside air // Privolzhsky Scientific Journal, 2013, no. 2, pp. 17–22.

4. Kupriyanov V.N., Petrov A.S. Vliyanostnoe state of enclosing structures with allowance for the variable value of vapor permeability of materials //

Stroitel'nye Materialy, 2016, no. 6, pp. 40–43.

5. Abdrazakov F.K., Povarov A.V., Sirota V.T. Ecological examination of the project for the construction of a modern multi-story apartment house // Research in construction, heat and gas supply and energy supply: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference. Ed. F.K. Abdrazakova (Saratov, 17-18 November 2016). Saratov: FGBOU in the Saratov State University, 2016, pp. 13–17.

6. Maltsev A.V., Sorokin D.S. Energy saving in multi-storey residential buildings with air infiltration through the outer wall // New University, 2015, no. 3-4 (37-38), pp. 87–90.

7. Chi Feng, Qinglin Meng, Ya Feng, Hans Janssen. Influence of pre-conditioning methods on the cup test results // 6 th International Building Physics Conference, 2015, vol. 78, pp. 1383–1388.

8. Pastushkov P.P., Lushin K.I., Pavlenko N.V. Absence of the problem of condensate precipitation on the inner surface of walls with bonded thermal insulation // Housing construction, 2014, no. 6, pp. 42–44.

9. Gaisin A.M., Samokhodova S.Yu., Paimetkina A.Yu., Nedoseko I.V. Comparative evaluation of specific heat loss through elements of the

exterior walls of residential buildings, determined by different methods // Housing construction, 2016, no. 5, pp. 36–40.

10. Umnyakova N.P., Butovskiy I.N., Chebotarev A.G. Development of methods for rationing thermal protection of energy-efficient buildings // Housing construction, 2014, no. 7, pp. 19–23.

11. Pastushkov P.P., Pavlenko N.V., Korkina E.V. Use of the design definition of operational humidity of heat-insulating materials // Construction and reconstruction, 2015, no. 4 (60), pp. 168–172.

12. King E.A., Pugach E.M., Kharkin Yu.A. Influence of technological factors on the formation of the bonding of layers of a multi-layered enclosing structure // Vestnik MGSU, 2014, no. 3, pp. 67–75.

13. Roife V.S. Some problems of determining the moisture content of building envelope structures // Stroitel'nye Materialy, 2015, no. 6, pp. 23–25.

14. Cherepanov V.I., Nekrasova E.V., Chernykh N.A., Panchenko Yu.F. Water resistance of silica brick // Stroitel'nye Materialy, 2013, no. 9, pp. 10–11.

15. Blanco F., García P., Mateos P., Ayala J. Characteristics and properties of lightweight concrete manufactured with cenospheres // Cement and Concrete Research, 2012, no. 30, pp. 1715–1722.

Information about the authors

Fyrid K. Abdrazakov, PhD, Professor.

E-mail: abdrazakov.fk@mail.ru.

Saratov State Agricultural University N.I. Vavilova.

Russia, 410600, Saratov, Teatralnaya Square, 1.

Andrey V. Povarov, PhD, Assistant professor.

E-mail: povarov-av2012@yandex.ru.

Saratov State Agricultural University. N.I. Vavilova.

Russia, 410600, Saratov, Teatralnaya Square, 1.

Received in February 2018

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЖЕКТИРУЮЩИХ СВОЙСТВ ПОТОКА ПОЛИФРАКЦИОННОГО СЫПУЧЕГО МАТЕРИАЛА

popov.en@bstu.ru

Данная работа направлена на подтверждение адекватности выдвинутого автором вероятностно-статистического подхода к определению коэффициента аэродинамического сопротивления частиц в потоке свободно падающего полифракционного материала. Коэффициент аэродинамического сопротивления частиц в потоке падающего материала определяется через вычисление вероятности нахождения частиц вне аэродинамических теней соседних частиц. Лабораторный эксперимент проводился на предложенных экспериментальных пробах сыпучего материала, имеющих разный гранулометрический состав, но одинаковый средний диаметр частиц. Описаны конструкция лабораторной экспериментальной установки, позволяющей определить расход воздуха, эжектируемого потоком полифракционного материала. Количество эжектируемого экспериментальными пробами воздуха зависит от их гранулометрического состава, что подтверждает недостаточность описания свойств сыпучего материала одной величиной среднего диаметра. Приведенное сравнение результатов аналитических вычислений с экспериментальными данными говорит о достоверности и адекватности расчётных значений.

Ключевые слова: аспирация бункеров, загрузка бункеров, полидисперсный материал, полифракционный материал, эжектирование воздуха, динамика частиц, аэродинамика, обеспыливающая вентиляция.

Введение. Рассмотрим аэродинамическое взаимодействие потока падающих полидисперсных частиц с воздухом. В предложенном ранее вероятностно-статистическом подходе [1, 2] было выдвинуто предположение, что коэффициент лобового сопротивления частиц в полифракционном материале пропорционален вероятности активного аэродинамического взаимодействия этих частиц с воздухом.

Аэродинамическое взаимодействие отдельных частиц в струе падающего материала и эжектируемого ими воздуха, как известно [3–5], определяется суммой аэродинамических сил всех частиц этого потока в единице объема $dV = S \cdot dx$:

$$d((1-\beta) \cdot \rho \cdot u \cdot S) \cdot u = \left(\sum_{i=1}^N R_i \cdot c_i \right) \cdot S \cdot dx, \quad (1)$$

где β – объемная концентрация частиц; ρ – плотность воздуха, кг/м³; u – скорость эжектируемого воздуха, м/с; S – площадь поперечного сечения струи, м²; c_i – счетная концентрация этих частиц в элементарном объеме струи $S \cdot dx$, 1/м³; R_i – аэродинамическая сила динамического взаимодействия одиночной частицы диаметром d_i , определяемая с помощью коэффициента аэродинамического сопротивления:

$$R_i = \psi_i \cdot F_{mi} \cdot \rho \cdot \frac{(v_i - u)^2}{2}, \quad (2)$$

где ψ_i – коэффициент лобового сопротивления частицы диаметром d_i в потоке материала.

Основной трудностью при определении коэффициента аэродинамического сопротивления частицы, находящейся в потоке падающего материала, является учет взаимного влияния стесненности потока, а также влияние частиц друг на друга. Это влияние зависит от множества факторов и учитывается фактическим коэффициентом сопротивления ψ^* , который определяется экспериментально для материалов разного типа, и описывается эмпирическими зависимостями, которые для островерных частиц эквивалентным диаметром d_{cp} принимают вид [6]:

$$\psi^* = \psi_0 \cdot e^{-1,8 \cdot \sqrt{\beta \cdot 10^3} / d_{cp}} \quad (3)$$

где ψ_0 – коэффициент лобового сопротивления одиночной (свободной) частицы диаметром d_i .

В предложенном вероятностно-статистическом методе [2] коэффициент активного аэродинамического сопротивления частиц (находящихся вне аэродинамических теней соседних частиц) с диаметром d_i можно определить по формуле:

$$\psi_i = \left(1 - K \cdot \frac{\sum_{i=1}^n \beta_{(d_i)}}{1 - \beta} \right) \cdot \psi_0 \quad (4)$$

где K – коэффициент пропорциональности, отношение объема аэродинамической тени частицы к объему самой частицы.

Для подтверждения выдвинутых предположений необходимо сравнение их с опытными данными, что и осуществлено с помощью предлагаемого экспериментального стенда.

Основная часть. Непосредственно измерить скорость эжектируемого частицами воздуха в потоке падающего материала достаточно сложно. В связи с этим определим расход воздуха, который движется в струе материала косвенным способом, через камеру статического давления, детально описанным Ze

Qin Liu [7]. Однако, при исследовании относительно крупнофракционных материалов, способ потребовал ряд модификаций.

Экспериментальный стенд (рис. 1) состоит из верхнего бункера 1 с открывающейся диафрагмой 2, нижнего бункера 3 размерами 1×1 м, который выполняет функцию камеры статического давления, вентилятора 9 с регулирующим шибером 8.

В качестве материала выбран гранитный щебень. Так как материал хорошо сыпучий, то изменением расхода по мере опустошения верхнего бункера можно пренебречь.

Подготовленные образцы материала с заданным гранулометрическим составом из верхнего бункера через тарированную диафрагму пересыпаются в камеру статического давления. Вместе с материалом через ограничивающую апертуру 4 в камеру попадает воздух, создавая эжекционное давление.



Рис. 1. Внешний вид экспериментального стенда:

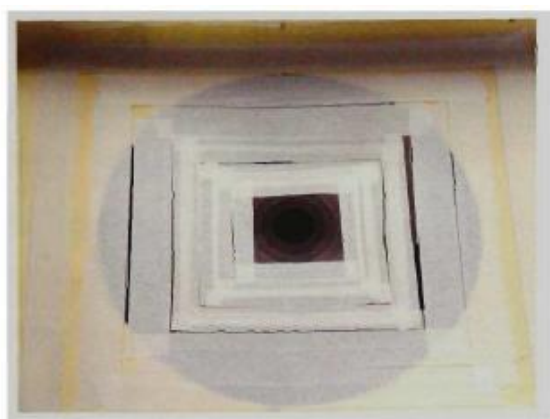
- 1 – верхний бункер; 2 – шибер-диафрагма; 3 – выравнивающий желоб; 4 – камера статического давления;
5 – сменные апертуры; 6 – индикатор разрежения; 7 – мерная диафрагма; 8 – дифманометр;
9 – регулирующий клапан; 10 – вентилятор; 11 – рама

Сменная апертура, предложенная Ze Qin Liu (см. рис. 2, а), в случае перегрузки относительно

крупнофракционного материала оказалась чрезмерно жесткой, что приводило к

значительному разбрасыванию частиц, и была заменена оригинальной конструкцией (рис. 2, б).

Количество материала, не попавшего в нижний бункер не превышает 1 %.



а)



б)

Рис. 2. Сменная апертура: а) предложенная Ze Qin Liu, б) предложенная автором.

Расход аспирируемого воздуха определяется с помощью пневмометрической трубки 6 с дифманометром 7. Регулируя расход аспирируемого воздуха клапаном 8, добиваемся равенства расхода удаляемого и поступающего воздуха и, следовательно, нулевой разницы статического давления в камере и в окружающей

среде. Нулевая разница статического давления в камере определяется с помощью индикатора 5 – папиросной бумаги размером 0,1×0,1 м. Бумажный лист эффективно сглаживает пульсации давления и позволяет достаточно точно определить момент равенства давлений в камере и окружающей среде (рис. 3).



а)



б)

Рис. 3. Индикатор разряжения: а) положение индикатора при наличии избыточного эжекционного давления (вентилятор выключен), б) положение индикатора при отсутствии эжекционного давления (вентилятор включен)

В качестве вентилятора 9 использовался канальный вентилятор СК 160 С ($Q=950 \text{ м}^3/\text{ч}$, $n=2480 \text{ об/мин}$, $N_y=100 \text{ Вт}$).

Образцы материала с заданным

гранулометрическим составом [8] готовились с помощью ситового разделения из трёх фракций 0,94; 3,75; 15 мм таблица 1. При этом среднемассовый диаметр d_{cp} у всех образцов

одинаков, что при расчете по существующим методикам [9–10] дает одинаковое количество

аспирационного воздуха.

Таблица 1

Гранулометрические характеристики образцов материала

Образец №	Тип материала	Массовые доли классов, %			Среднемассовый диаметр d_{cp} , мм	Класс материала
		1,85 мм	3,75 мм	7,5 мм		
№ 1	Полифракционный	66	34	0	2,51	мелкозернистый
№ 2	Полифракционный	76	19	5	2,51	мелкозернистый
№ 3	Полифракционный	88	1	11	2,51	мелкозернистый

Результаты сравнения расходов воздуха, полученных аналитическим и экспериментальным путем представлены на рис. 4. Из сравнения расчётных и экспериментальных данных для острозернистых частиц следует вывод об их высокой тесноте связи (коэффициент линейной корреляции Пирсона равен $0,998 \pm 0,01$), достоверности и адекватности расчётных значений (критерий достоверности Стьюдента равен 0,13, критерий адекватности Фишера равен 1,31) [11].

При одинаковом среднем диаметре d_{cp} , но разном гранулометрическом составе (материалы 1-3) расход эжектируемого воздуха, не одинаков, он увеличивается с ростом счетного доли частиц фракций, близких к 2,5 мм, имеющих, как известно наибольшую эжекционную способность.

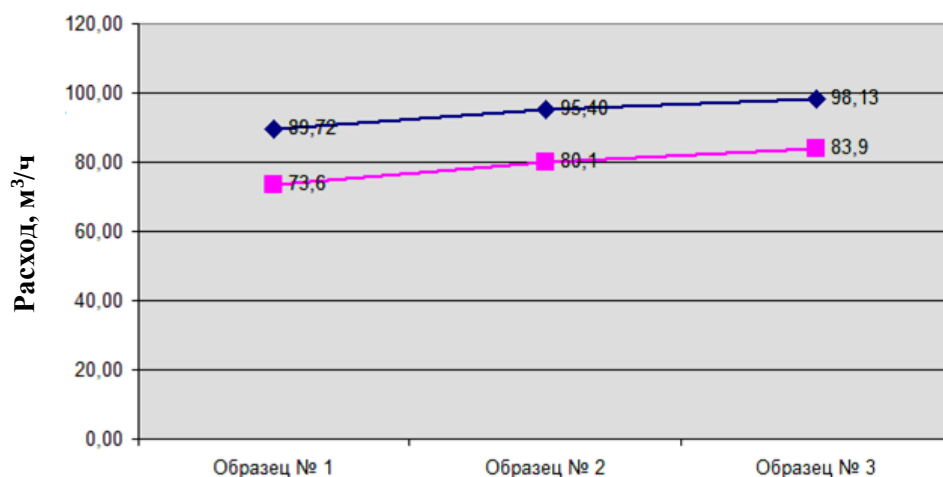


Рис. 4. Расходы эжектируемого воздуха: ■ – расчетные значения, ◆ – экспериментальные значения.

Выводы. На представленной экспериментальной установке исследовано явление эжекции воздуха полифракционным потоком сыпучего материала и выявлена зависимость расхода эжектируемого материала от воздуха, а, следовательно, коэффициента лобового сопротивления частиц от гранулометрического состава материала. Подтверждены результаты аналитических исследований и выявлены зависимости изменения расхода эжектируемого воздуха от дисперсного состава перегружаемого материала.

Источник финансирования. Грант РФФИ №. 16-08-00074а; Программа развития опорного университета на базе БГТУ им. В.Г. Шухова.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Логачёв И.Н., Попов Е.Н. Вероятностно-статистический подход к описанию аэро-

динамического взаимодействия коллектива падающих частиц с воздухом // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2016. № 10. С. 120–123.

2. Логачёв И.Н., Попов Е.Н. Вероятностно-статистический подход к описанию аэродинамического взаимодействия коллектива падающих частиц с воздухом: случай полифракционного материала // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2016. №12. С. 95–99.

3. Нейков О.Д., Логачёв И.Н. Аспирация и обеспыливание воздуха при производстве порошков. М.: Металлургия, 1981. 192 с.

4. Минко В.А., Логачёв И.Н., Логачёв К.И. и др. Обеспыливающая вентиляция. Под общ. ред. В.А. Минко. Белгород: Изд-во БГТУ, 2010. 565 с.

5. Logachev I.N., Logachev K.I. Industrial air quality and ventilation: controlling dust emissions. Boca Raton: CRC Press, 2014.

6. Логачёв И.Н., Логачёв К.И. Аэродинамические основы аспирации. СПб: Химиздат, 2005. 659 с.

7. Liu Ze Qin, 2003. Air entrainment in free falling bulk materials, Doctor of Philosophy thesis, Faculty of Engineering, University of Wollongong.

8. Рачинский Ф.Ю., Рачинская М.Ф. Техника лабораторных работ. Л.: Химия, 1982. 432 с.

9. Временные указания по расчету объемов аспирируемого воздуха от укрытий дробильного оборудования и оборудования, перерабатывающего нагретые влажные материалы. Алма-

Ата, ГПИ Сантехпроект, 1973, (А/о ГПИ Сантехпроект, ВНИИБТГ), 96 с.

10. Временные указания по расчету объемов аспирируемого воздуха от укрытий мест перегрузок при транспортировании пылящих материалов. АЗ-611, М.: изд-во ГПИ Сантехпроект, 1973, 31 с. (ГПИ Сантехпроект, НИИрудвентиляция, ИПМ АН УССР). 1973, 31 с.

11. Рогов В.А., Позняк Г.Г. Методика и практика технических экспериментов: Учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений. М.: Издательский центр "Академия", 2005. 288 с.

Информация об авторах

Попов Евгений Николаевич, старший преподаватель кафедры теплогазоснабжения и вентиляции.

E-mail: popov.en@bstu.ru

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.
Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила в январе 2018 г.

© Попов Е.Н., 2018

E.N. Popov

RESEARCH OF THE EJECTING PROPERTIES OF A POLYFRACTION BULK MATERIAL FLOW

This work is aimed at confirming the adequacy of the probabilistic and statistical approach to determining the aerodynamic resistance coefficient of particles in a flow of the free falling polyfractional material, suggested by the author. The aerodynamic resistance coefficient of particles in a flow of falling material is defined by calculating the probability of finding particles out of air shadows of the neighboring particles. The laboratory experiment was performed on the offered experimental samples of bulk materials having different particle size distribution, but the identical average diameter of particles. The design of a laboratory experimental installation which allows determining the consumption of air, ejected by a polyfractional material flow, was described. The amount of the air, ejected with experimental samples, depends on their particle size distribution that confirms the insufficiency of describing the properties of bulk material only with the average diameter value. The given comparison of results of the analytical calculations with experimental data shows the reliability and adequacy of the calculated values.

Keywords: aspiration of bunkers, loading of bunkers, polydispersed material, polyfractional material, air ejection, dynamics of particles, aerodynamics, dust-removing ventilation.

REFERENCES

1. Logachev I.N., Popov E.N. Probability and statistical approach to the description of aerodynamic interaction of collective of incident particles with air // Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2016, no. 10, pp. 120–123.

2. Logachev I.N., Popov E.N. Probability and statistical approach to the description of aerodynamic interaction of collective of incident particles with air: case of polyfractional material // Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2016, no. 12, pp. 95–99.

3. Neykov O.D., Logachev I.N. Aspiration and dust removal of air by production of powders. Moscow: Metallurgy, 1981, 192 p.

4. Minko V.A., Logachev I.N., Logachev K.I., etc. The removing dust ventilation. Under a general

edition of V.A. Minko. Belgorod: BGTU publishing house, 2010. 565 p.

5. Logachev I.N., Logachev K.I. Industrial air quality and ventilation: controlling dust emissions. Boca Raton: CRC Press, 2014.

6. Logachev I.N., Logachev K.I. Aerodynamic bases of aspiration. St. Petersburg: Himizdat, 2005. 659 p.

7. Liu Ze Qin, 2003. Air entrainment in free falling bulk materials, Doctor of Philosophy thesis, Faculty of Engineering, University of Wollongong.

8. Rachinsky F.Yu., Rachinsky M.F. Technique of laboratory works. Leningrad: Chemistry, 1982, 432 p.

9. Temporary instructions by calculation of volumes of aspiration of air from shelters of the crushing equipment and equipment processing

heated damp materials. Alma-Ata, GPI Santekhproyekt, 1973, (And / about GPI Santekhproyekt, VNIIBTG), 96 p.

10. Temporary instructions by calculation of volumes of aspiriruyemy air from shelters of places

of overloads at transportation of the raising dust materials. A3-611, Moscow: Santekhproyekt GPI publishing house, 1973, 31 p.

11. Rogov V.A., Poznyak G.G. Methodic and practicing of technical experiments: Studies. a grant for student. institutions. Moscow: Publishing center "Akademiya", 2005. 288 p.

Information about the author

Evgeny N. Popov, Senior lecturer.

E-mail: evg-popov@yandex.ru

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov.

Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received in January 2018

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УСЛОВИЙ РЕАЛИЗАЦИИ КОАНДОВСКИХ ТЕЧЕНИЙ

seminenko.as@bstu.ru

Эффект Коанда приобрел широкое использование в вентиляции, энергетике, авиации. Данная работа посвящена экспериментальным установкам для определения условий реализации двумерных и трехмерных, плоских и осесимметричных коандовских течений. Приведены основные предпосылки и результаты исследований как зарубежных (Newman B.G., Carpenter P.W., Bradshaw P., Patankar U.M. и др.), так и отечественных (Соколовой И.Н., Жулева Ю.Г., Квашина И.М. и др.) исследователей. С учетом которых разработан лабораторный стенд для проверки работоспособности устройства для снижения пылеобразования при загрузке сыпучих материалов. Определены функция отклика и факторы, влияющие на реализацию эффекта Коанда при формировании веерной струи в приближенных технологических условиях пневмотранспортной загрузки бункеров порошкообразными материалами, для составления плана многофакторного эксперимента. Приведены результаты поискового эксперимента, подтверждающие работоспособность предлагаемого устройства и необходимость дальнейших исследований конструктивно-режимных характеристик.

Ключевые слова: коандовское течение, эффект Коанда, вентиляция, аэродинамика.

Введение. Согласно сложившейся научной терминологии под термином «эффект Коанда» подразумевают несколько различных аэрогидродинамических явлений [1], названных по имени румынского изобретателя, который нашел им практическое применение, разработав несколько устройств [2–6], использующих один или несколько из этих свойств потока:

1. Тенденция струи жидкости, приближающейся к криволинейной поверхности, оставаться прикрепленной к ней – эффект пограничного слоя, который характеризует широкий спектр природных явлений;

2. Способность струи жидкости присоединяться к близлежащей поверхности;

3. Свойство струйных потоков (наиболее часто используется в аэродинамике) движущихся у выпуклых криволинейных поверхностей, эжектировать окружающую среду с созданием, так называемых синтетических струй, изменяя при этом направление движения.

Этот феномен обычно связывают с именем Н. Coanda, так как именно он использовал аспекты этого явления в многочисленных изобретениях, первое из которых [2] имеет в качестве даты приоритета – 1911 г. Однако еще раньше, в 1870 году О. Reynolds описал устойчивое равновесие шара, находящегося на вершине вертикальной осесимметричной струи воды, и выявил, что «устойчивость связана с тенденцией струи оставаться присоединенной к шару. Когда шар значительно отклоняется от центра струи, низкое давление на поверхности вызывает искривление потока, порождающего силу, которая стремится

вернуть шар в его устойчивое состояние» [7]

Методология. Несмотря на широкое распространение эффекта Коанда в различных областях науки и техники аэрогидродинамический эффект недостаточно хорошо изучен. Поэтому основным методом подтверждения условий реализации эффекта Коанда является физический эксперимент.

Основная часть. Одними из фундаментальных научных трудов, посвященных эффекту Коанда являются работы Newman [8–9]. В которых приведены результаты исследования двумерного турбулентного течения вокруг кругового цилиндра (см. рисунок 1.). Согласно его теории, основанной на пространственном анализе, принципе моментов и существующей теории для присоединенных струй поток рассматривается как несжимаемый, а окружающая среда – в состоянии покоя.

В статье Newman показано, что эффект прилипания Коанда является прямым следствием баланса сил, действующих на поток. При движении по криволинейной поверхности они представляют собой центробежную силу и радиальное давление [8, 10]. При выходе струи из сопла, из-за наличия вязкого сопротивления потока и твердой стенки, его контактное давление с поверхностью ниже, чем давление окружающей среды. Этот перепад давления является основной причиной сцепления потока и криволинейной поверхности. Контактное давление вдоль поверхности увеличивается и постепенно достигает значения атмосферного, что обуславливает отрыв струи от поверхности.

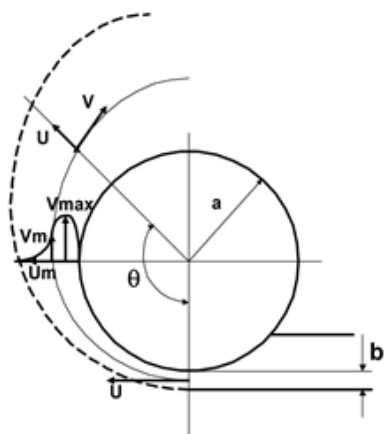


Рис. 1. Схема экспериментальной установки Newman

Bradshaw [11] объясняет эффект Коанда в условиях безвихревого невязкого потока. Предполагая, что поток изначально невязок, формула, описывающая поведение давления потока, выводится из уравнения Бернулли:

$$p_0 = p_\infty - \frac{\rho \cdot U^2 \cdot b}{a} \quad (1)$$

где ρ – плотность потока, U – скорость, b – ширина щели сопла, a – радиус кривизны поверхности (см. рис.1).

Давление невязкого потока ниже, чем давление окружающей среды до тех пор, пока соблюдается неравенство:

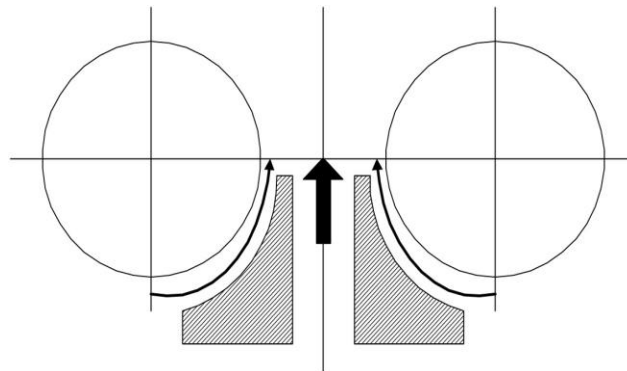
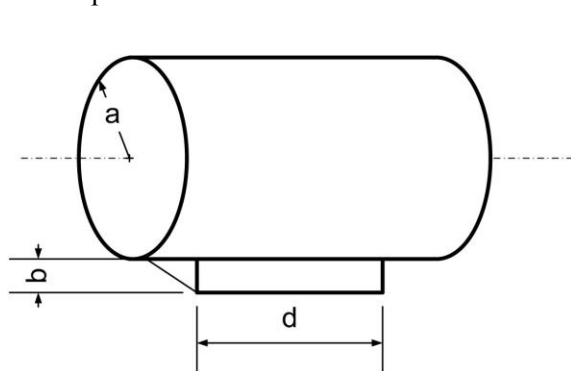


Рис. 2. Схемы экспериментальных установок:

а) применяемой в исследованиях Patankar; б) применяемой в исследованиях Juvet

Большинство работ, были посвящены двумерным течениям, первые эксперименты с коандовским течением в трех измерениях были проведены Patankar и Sridhar [12], которые исследовали трехмерные эффекты турбулентных, несжимаемых, искривленных пристеночных струй. Экспериментальная установка была аналогична установке, представленной на рисунке 1, однако введена координата z для ограничения размера струи (рис. 2а). Patankar и Sridhar изменяя пропорции сопла (15.6, 10.0, 5.0, 2.5 и 1.0), сохраняли площадь сопла и начальную скорость постоянной. Коэффициент сжатия был определен Patankar как длина d к ши-

$$\frac{\rho \cdot U^2 \cdot b}{a} < p_\infty. \quad (2)$$

Выражение (2) используется для первоначального подхода. В реальных вязких течениях прилипание струи жидкости с криволинейной поверхностью вызывает увеличение толщины струи, движущейся вдоль поверхности с уменьшением средней скорости из-за неблагоприятного градиента давления. Средняя скорость уменьшается, а поверхностное давление вдоль стенки увеличивается и в конечном итоге равно атмосферному. Когда $p_s = p_\infty$, поток отделяется от изогнутой поверхности [11]. Следовательно, невязкие течения могут присоединяться в соответствии с балансом центробежных сил, но вязкие эффекты являются причиной отделения струи от криволинейной стенки.

Условия, характеризующие возникновение эффекта Коанда можно описать несколькими основными физическими параметрами. Рассмотрим любое двумерное коандовское течение, например, показанное на рис. 1. Тогда в качестве основные геометрических параметров необходимо выделить: угол отрыва θ ; ширину сопла b ; радиус кривизны a . Другие физические параметры: число Рейнольдса Re , перепад давления $p_s - p_\infty$, (где p_s – давление на срезе сопла).

При проведении эксперимента радиус кривизны a изменялся. Одно из главных сделанных наблюдений заключалось в том, что при использовании прямоугольного потока угол отрыва был значительно сокращен, по сравнению с двумерным вариантом. Как соотношение сторон, так и радиус продемонстрировали большое влияние на значение угла отрыва. Наиболее влияющим параметром является соотношение сторон. Установлено, что угол разделения увеличивается как с соотношением сторон, так и с радиусом кривизны.

Juvet [13] провел исследование на осесимметричной струе, формируемой окружающим соплом, при этом первичный поток, выходящий из сопла

большого диаметра D с центром в торе, а вторичный поток, выходящий по окружности, касательной к криволинейной поверхности ($D \gg b$, см. рисунок 2б). Juvet проводил эксперимент с постоянными соотношением $b/a = 0.031$, коэффициент обдува – отношение объемного расхода вторичного потока к расходу первичного потока изменялся от 0 до 0.15, что соответствует значениям коэффициента импульса между 0.0 и 0.33. Соответственно при нулевом расходе вторичного потока коандовского течения не наблюдалось, при увеличении расхода налипание струи происходило более интенсивно.

В качестве отечественных исследователей эффекта Коанда следует отметить коллектив ученых ЦАГИ: Соколовой И.Н., в работе [14] установлены зависимости отрыва потока при различных начальных давлениях, толщинах струй и зазорах между

соплом и цилиндрической поверхностью, обнаружены гистерезисные явления в поведении коандовских течений. В работе [15] исследована возможность использования эффекта для уменьшения воздействия струи на преграду, приведены исследования поведения коандовских течений при экстремальных условиях: сверхзвуковых скоростях [16], при нагревании до 600°C [17], отмечено, что и горячие коандовские струи обладают определенной автомодельностью. Ганич Г.А., Гущина Н.А., Жулев Ю.Г. провели серию экспериментов для изучения зависимости степени проявления прямоугольных коандовских течений от геометрических параметров сопла и от угла выдува струи к плоской поверхности (рис. 3а). [18] Интенсификацией эффекта Коанда для струй из осесимметричных сопел путем создания продольных вихрей занимались Жулев Ю.Г., Макаров В.А., Наливайко А.Г. [19–20].

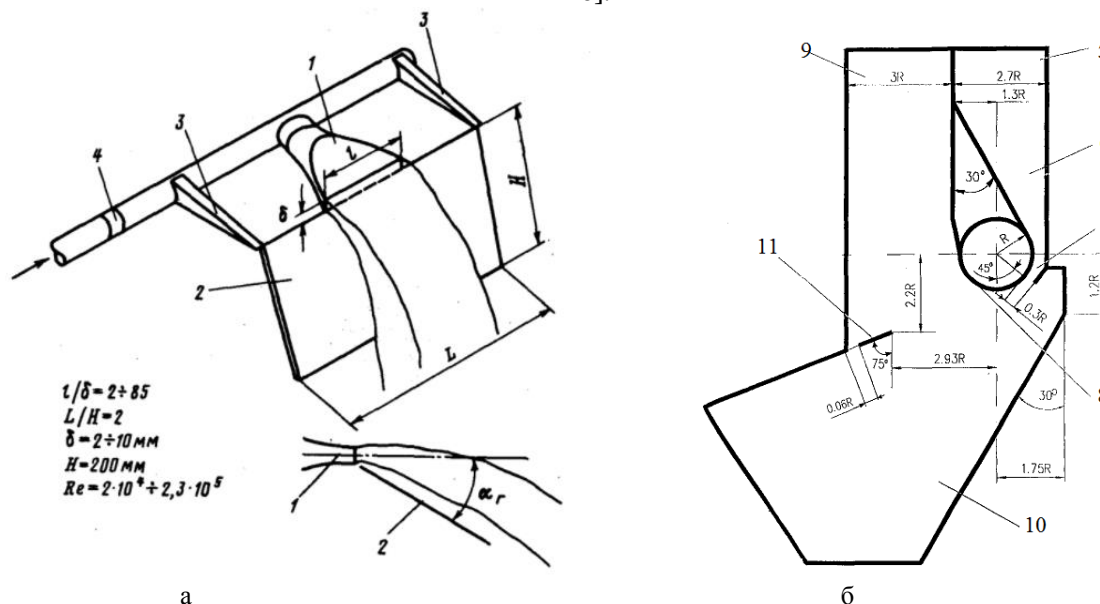


Рис. 3. Схемы экспериментальных установок: а) в исследованиях Ганич Г.А., Гущиной Н.А., Жулева Ю.Г.; б) в исследованиях Квашнина И. М., Зубаревой О. Н., Юнкерова Ю. И.: 1 – сменное сопло, 2 – пластина, 3 – кронштейны, 4 – тензосенсоры, 5 – приток запыленного потока, 6 – сопловое устройство, 7 – шибер, 8 – цилиндр, 9 – отвод очищенного воздуха, 10 – бункер, 11 – поворотный щиток

Квашнин И.М., Зубарева О.Н. и Юнкеров Ю.И. [21] исследовали реализацию эффекта Коанда в струйно-инерционном пылеуловителе, представленном на рис. 3б. опыты показали, что конструкция сопла не влияет на течение Коанда, но заметно изменяет величину коэффициента пылеулавливания, т.к. от нее зависит распределение концентрации пыли по толщине струи на срезе сопла.

Коллективом кафедры ТГВ БГТУ им. В.Г. Шухова предложено несколько конструкций устройств [22–24], в аэродинамическую схему которых включен эффект Коанда, предназначенных для использования в системах пылеочистки.

Устройство для снижения пылеобразования при загрузке сыпучих материалов (рис. 5) состоит из трубопровода 1 пневмотранспорта с соплом 2, образованным тором 3 жестко закрепленном на трубопроводе 1 с помощью стержня 5, зафиксированного контргайкой 6, и расположенного на одной с тором 3 вертикальной оси конусом 4, обращенным вершиной вверх. Данное устройство предлагается к установке в узле пневмотранспортной загрузки бункеров пылящими материалами [25]. Поскольку интенсивность пылеобразования зависит от скорости и расхода соударяющегося потока с преградой, но основным назначением устройства является отклоне-

ние потока воздуха от первоначальной траектории (согласно эффекту Коанда), что обеспечивает снижение пылеобразования при контакте

загружаемого материала с уже лежащим в бункере.

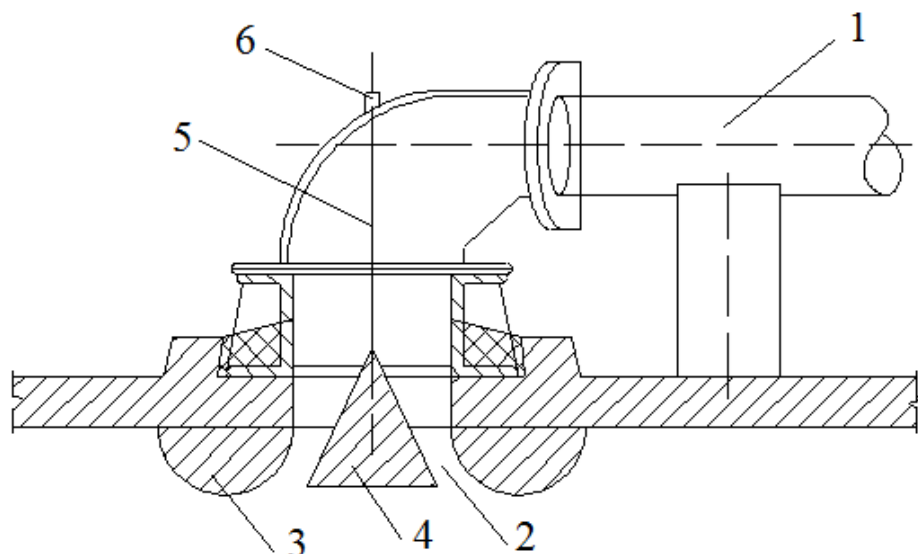


Рис. 4. Устройство для снижения пылеобразования при загрузке сыпучих материалов

Таким образом, согласно схемам экспериментальных установок, рассмотренных выше, в качестве основных факторов, влияющих на налипание струи (реализацию эффекта Коанда) при работе устройства для снижения пылеобразования, показанного на рисунке 4, необходимо выделить следующие геометрические характеристики: диаметр (или радиус) тора, ширина щели между конусом и тором, зависящей от взаимного расположения тора и конуса.

Для проверки работоспособности устройства разработана и сконструирована экспериментальная установка (рис. 5), представляет собой воздушораспределитель, состоящий из патрубка с тороидальной поверхностью и конусного разделителя потока, подключенного к вентиляционной сети гибким (гофрированным)

воздуховодом. Исследования предполагается проводить при различных скоростях воздушного потока, используя количественное регулирование воздушными клапанами сети.

Для проверки формирования коандовского течения предлагается измерение скорости потока у на некотором расстоянии от оси воздушораспределителя. Таким образом, на расстоянии $3,5 d$ отмечается линия измерения, на которой выбираются 5 точек по высоте для регистрации скорости потока. Фиксирование скорости воздуха в точках измерения использовался термоанемометр Testo 425, зондом с обогреваемой струной.

В таблице 1 приведены результаты натурных замеров поискового эксперимента, проводимого при начальной скорости 5 м/с при различной высоте разделителя потока (конуса).

Таблица 1

Результаты экспериментальных исследований

№ эксперим.	Высота конуса, м	Положение штока, м	Скорость, м/с					
			точки линии измерения					среднее значение по линии измерения
			1	2	3	4	5	
1	60	0,01	4,63	4,54	4,52	3,97	3,27	4,186
2	60	0,04	0,09	0,23	0,61	1,1	0,73	0,552
3	40	0,03	2,53	1,42	1,21	1,04	0,56	1,352
4	40	0,06	0,91	0,69	0,53	0,51	0,42	0,612

Данные из таблицы 1 подтверждают появление коандовского течения при работе предлагаемого устройства, при этом результаты согласуются с данными предыдущих исследований: эффект наблюдается при истечении тонких

струй. Однако, для определения конструктивно-режимных характеристик необходимо проведение многофакторного экспериментального исследования геометрических характеристик на условия реализации коандовских течений.



Рис. 5. Экспериментальная установка: а) общий вид экспериментальной установки; б) измерительный прибор; в) элементы устройства снижения пылеобразования: 1 – подающий патрубок с тороидальной поверхностью; 2 – конусный разделитель потока: а – с высотой 60 мм, б – с высотой 40 мм; 3 – воздуховод вентиляционной сети; 4 – воздушный регулирующий клапан; 5 – измерительный зонд; 6 – термоанемометр; 7 – штатив; 8 – координатная сетка

Значения скоростей подтверждают работоспособность конструкции.

Выводы. В ходе проведения аналитических исследований были выявлены основные факторы, влияющие на условия реализации двумерных, трехмерных, плоских и осесимметричных коандовских течений. Так для рассматриваемого устройства для снижения пылеобразования при загрузке сыпучих материалов в качестве факторов, влияющих на налипание струи (реализацию

эффекта Коанда), определены геометрические характеристики: диаметр (или радиус) тора, ширина щели между конусом и тором, зависящей от взаимного расположения тора и конуса. Разработана и сконструирована экспериментальная установка для проверки реализации условий для реализации коандовского течения. Приведены результаты поискового эксперимента, подтверждающие работоспособность предлагаемого

устройства и необходимость дальнейших исследований конструктивно-режимных характеристик.

Источник финансирования. РФФИ (код проекта 16-08-00074 а); Программа развития опорного университета на базе БГТУ им. В.Г. Шухова.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Trancossi M. An Overview of Scientific and Technical Literature on Coanda Effect Applied to Nozzles, SAE Technical Papers 259, 2011.
2. Patent US 1104963 Coanda H. Improvement in Propellers, 1911.
3. Patent US 3261162 Coanda H. Lifting Device Coanda Effect, 1936.
4. Patent US 2796147 Coanda H. Cyclone Separator, 1957.
5. Patent US 2052869 Coanda H. Device for Deflecting a Stream of Elastic Fluid Projected into an Elastic Fluid, 1936.
6. Patent US 2907557 Coanda H. Apparatus for Imparting Rapid Speed to a Mass of Fluid.
7. Reynolds O. On the suspension of a ball by a jet of water // Proc. Manchester Lit. Phil. Soc. 1870. № 9. Pp. 115–120.
8. Newman B.G. The deflection of jets by adjacent boundaries - Coanda effect // Boundary Layer and Flow Control. Oxford. 1961. Vol. 1. Pp. 232–264.
9. Bourque C., Newman B.G. Reattachment of a two-dimensional incompressible jet to the Adjacent flat plate // Aeronautical Quarterly. 1960. № 11.
10. Carpenter P.W., Green P.N. The Aeroacoustics and Aerodynamics of High-Speed Coanda Devices, Part 1: Conventional Arrangement of Exit Nozzle and Surface // Journal of Sound and Vibration. 1997. Vol. 208. № 5. Pp. 777–801.
11. Bradshaw P. Effects of Streamline Curvature on Turbulent Flow, AGARDograph, AGARDograph AG-169, 1990.
12. Patankar U.M., Sridhar K. Three-Dimensional Curved Wall Jets // Journal of Basic Engineering (changed to Journal of Engineering Materials and Technology; and the Journal of Fluids Engineering). 1972. Vol. 94. № 2. Pp. 339–344.
13. Juvet J.D. Control of High Reynolds Number Round Jets, Department of Mechanical Engineering, Stanford University, Ph.D. Thesis 1993.
14. Соколова И.Н. Экспериментальное исследование пределов реализации течения Коанда // Ученые записки ЦАГИ. 1983. Т. 14. № 4. С. 124–126.
15. Соколова И.Н. Использование эффекта Коанда для уменьшения воздействия струи на преграду // Ученые записки ЦАГИ. 1985. Т. 16. № 3. С. 118–121.
16. Соколова И.Н. Исследование сверхзвукового течения Коанда // Ученые записки ЦАГИ. 1985. Т. 16. № 2. С. 108–111.
17. Соколова И.Н. Горячие струи Коанда // Ученые записки ЦАГИ. 1990. Т. 21. № 4. С. 100–103.
18. Ганич Г.А., Гущина Н.И., Жулев Ю.Г. Эффект Коанда при выдуве струй из прямоугольных сопел под углом к плоской поверхности // Ученые записки ЦАГИ. 1994. Т. 25. № 3-4. С. 121–125.
19. Жулев Ю.Г., Макаров В.А., Наливайко А.Г. Интенсификация эффекта Коанда с помощью создаваемых в струе продольных вихрей // Ученые записки ЦАГИ. 1997. Т. 28. № 1. С. 139–143.
20. Жулев Ю.Г., Макаров В.А., Наливайко А.Г. Интенсификация эффекта Коанда с помощью вводимых в струю продольных вихрей // Ученые записки ЦАГИ. 1996. Т. 27. № 1–2. С. 100–104.
21. Квашнин И.М., Зубарева О.Н., Юнкеров Ю.И. Анализ закономерностей распространения осесимметричной газовой струи вдоль криволинейной поверхности // Известия ВУЗов Строительство. 1998. № 4–5. С. 93–99.
22. Патент РФ 142259 Семенов А.С., Логачев И.Н., Логачев К.И., Аверкова О.А., Алифанова А.И., Попов Е.Н., Киреев В.М., Гольцов А.Б. Аспирационное укрытие мест перегрузки сыпучего материала // Патент на полезную модель, Заявка: 2014105607/03, 14.02.2014; Опубликовано: 27.06.2014
23. Патент РФ 48318 Логачев И.Н., Овсянников Ю.Г., Семенов А.С., Никитенко Б.Л. Устройство для снижения пылеобразования при загрузке сыпучих материалов: // Патент на полезную модель Заявка: №2005117396/22, 06.06.2005; Опубл. 10.10.2005, Бюл. № 28.
24. Патент РФ 161417 Укрытие с рециркуляцией аспирируемого воздуха Гольцов А.Б., Овсянников Ю.Г., Семенов А.С., Емельянов А.В. // Патент на полезную модель, Заявка: 2015155408/03, 23.12.2015; Опубликовано: 20.04.2016 Бюл. № 11
25. Семенов А.С., Логачев И.Н. Снижение пылеобразования при загрузке бункеров сыпучими материалами // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2006. № 14. С. 251–254.

Информация об авторах

Семиненко Артем Сергеевич, старший преподаватель кафедры теплогазоснабжения и вентиляции.

E-mail: seminenko.as@bstu.ru

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.

Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила в январе 2018 г.

© Семиненко А.С., 2018

A.S. Seminenko

EXPERIMENTAL UNITS FOR DETERMINING THE CONDITIONS OF IMPLEMENTING COANDA AIR JETS

The Coanda effect has become widely used in ventilation, power engineering and aviation. This paper is devoted to experimental installations for determining the conditions for implementing two-dimensional and three-dimensional, plane and axisymmetric Coanda flows. The main prerequisites and results of the research are presented, including the foreign (Newman B.G., Carpenter P.W., Bradshaw P., Patankar U.M., etc.) and domestic (Sokolova I.N., Zhuleva Yu.G., Kvashnina I.M. et al.) researchers. In view of these, a laboratory bench was designed to test the efficiency of the device for reducing dust formation during the loading of bulk materials. The response function and the factors influencing the implementation of the Coanda effect in the formation of a fan jet in the approximate technological conditions of the pneumatic transport loading of bins with powder materials have been determined, and a plan for a multifactor experiment has been compiled. The results of a searching experiment confirming the operability of the proposed device and the need for further studies of design-mode characteristics are presented.

Keywords: Coanda flow, Coanda effect, ventilation, aerodynamics.

REFERENCES

1. Trancossi M. An Overview of Scientific and Technical Literature on Coanda Effect Applied to Nozzles, SAE Technical Papers 259, 2011.
2. Patent US 1104963 Coanda H. Improvement in Propellers, 1911.
3. Patent US 3261162 Coanda H. Lifting Device Coanda Effect, 1936.
4. Patent US 2796147 Coanda H. Cyclone Separator, 1957.
5. Patent US 2052869 Coanda H. Device for Deflecting a Stream of Elastic Fluid Projected into an Elastic Fluid, 1936.
6. Patent US 2907557 Coanda H. Apparatus for Imparting Rapid Speed to a Mass of Fluid.
7. Reynolds O. On the suspension of a ball by a jet of water // Proc. Manchester Lit. Phil. Soc, 1870, no. 9, pp. 115–120.
8. Newman B.G. The deflection of jets by adjacent boundaries - Coanda effect // Boundary Layer and Flow Control. Oxford, 1961, vol. 1. pp. 232–264.
9. Bourque C., Newman B.G. Reattachment of a two-dimensional incompressible jet to the Adjacent flat plate // Aeronautical Quarterly, 1960, no. 11.
10. Carpenter P.W., Green P.N. The Aeroacoustics and Aerodynamics of High-Speed Coanda Devices, Part 1: Conventional Arrangement of Exit Nozzle and Surface // Journal of Sound and Vibration, 1997, vol. 208, no. 5, pp. 777–801.
11. Bradshaw P. Effects of Streamline Curvature on Turbulent Flow, AGARDograph, AGARDograph AG-169, 1990.
12. Patankar U.M., Sridhar K. Three-Dimensional Curved Wall Jets // Journal of Basic Engineering (changed to Journal of Engineering Materials and Technology; and the Journal of Fluids Engineering), 1972, vol. 94, no. 2, pp. 339–344.
13. Juvet J.D. Control of High Reynolds Number Round Jets, Department of Mechanical Engineering, Stanford University, Ph.D. Thesis 1993.
14. Sokolova I.N. E'ksperimental'noe issledovanie predelov realizatsii techeniia Koanda // Ucheny'e zapiski TCAGI, 1983, vol. 14, no. 4, pp. 124–126.
15. Sokolova I.N. Ispol'zovanie e'ffekta Koanda dlia umen'sheniia vozdei'stviia strui na pregradu // Ucheny'e zapiski TCAGI, 1985, vol. 16, no. 3, pp. 118–121.
16. Sokolova I.N. Issledovanie sverkhzvukovogo techeniia Koanda // Ucheny'e zapiski TCAGI, 1985, vol. 16, no. 2, pp. 108–111.
17. Sokolova I.N. Goriachie strui Koanda // Ucheny'e zapiski TCAGI, 1990, vol. 21, no. 4, pp. 100–103.
18. Ganich G.A., Gushchina N.I., Zhulev Iu.G. E'ffekt Koanda pri vy'duve strui iz priamougol'nykh sopl pod uglom k ploskoi poverkhnosti // Ucheny'e zapiski TCAGI, 1994, vol. 25, no. 3–4, pp. 121–125.
19. Zhulev Iu.G., Makarov V.A., Nalivai'ko A.G. Intensifikatsiia e'ffekta Koanda s pomoshch'iu

sozdavaemy`kh v strue prodol`ny`kh vikhrei` // Ucheny`e zapiski TCAGI, 1997, vol. 28, no. 1, pp. 139–143.

20. Zhulev Iu.G., Makarov V.A., Nalivai`ko A.G. Intensifikatsiia e`ffekta Koanda s pomoshch`iu vvodimy`kh v struiu prodol`ny`kh vikhrei` // Ucheny`e zapiski TCAGI, 1996, vol. 27, no. 1-2, pp. 100–104.

21. Kvashnin I.M., Zubareva O.N., Iunkerov Iu.I. Analiz zakonomernosti` rasprostraneniia osesimmetrichnoi` gazovoi` strui vdol` krivolinei`noi` poverkhnosti // Izvestiia VUZov Stroitel`stvo, 1998, no. 4-5, pp. 93–99.

22. Patent RU 142259 Seminenko A.S., Logachev I.N., Logachev K.I., Averkova O.A., Alifanova A.I., Popov E.N., Kireev V.M., Gol`tcov A.B. Aspiratsionnoe ukry`tie mest peregruzki sy`puchego materiala // Patent na poleznuiu model`, Zaiavka:

2014105607/03, 14.02.2014; Opublikovano: 27.06.2014

23. Patent RU 48318 Logachev I.N., Ovsiannikov Iu.G., Seminenko A.S., Nikitenko B.L. Ustroistvo dlia snizheniia py`leobrazovaniia pri zagruzke sy`puchikh materialov: // Patent na poleznuiu model` Zaiavka: №2005117396/22, 06.06.2005; Opubl. 10.10.2005, Biul. № 28.

24. Patent RU 161417 Ukry`tie s retsirkulatsiei` aspiriruemogo vozduha Gol`tcov A.B., Ovsiannikov Iu.G., Seminenko A.S., Emel`ianov A.V. // Patent na poleznuiu model`, Zaiavka: 2015155408/03, 23.12.2015; Opublikovano: 20.04.2016 Biul. № 11

25. Seminenko A.S., Logachev I.N. Snizhenie py`leobrazovaniia pri zagruzke bunkerov sy`puchimi materialami // Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2006, no. 14, pp. 251–254.

Information about the author

Artem S. Seminenko, Senior lecturer.

E-mail: seminenko.as@bstu.ru

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov.

Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received in January 2018

Дмитриев А.С., ст. препод.,
Евстигнеев В.Д., магистрант

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет

ТРАНСПОРТНО-ПЕРЕСАДОЧНЫЕ УЗЛЫ, ПРОБЛЕМЫ ОРГАНИЗАЦИИ ДВИЖЕНИЯ ЛЮДСКИХ ПОТОКОВ

yalac24@gmail.com

Итогами анализа функциональных и объёмно-планировочных характеристик транспортно-пересадочных узлов (ТПУ) обосновывается актуальность представленной темы, выявляется предмет и объект исследования. За основу исследования берётся системный анализ, который дифференцирован на четыре основных уровня: коммуникационный, системный, локальный и индивидуальный. Происходит исследование закономерностей процесса передвижения потоков людей на каждом уровне. Основные параметры и их зависимости, являющиеся базой для разработки комплексной методики расчета, моделирования и нормирования путей пешеходного движения, которые могут быть применены в практике архитектурно – строительного проектирования ТПУ.

Ключевые слова: транспортно-пересадочные узлы, пешеходные коммуникации, людские потоки, эргономика, закономерности процесса движения, основные зависимости и параметры, комплексный метод расчета.

Введение. Представленная научно-исследовательская работа является продолжением и дополнением к части программных исследований по сложностям проектирования зданий и сооружений с учетом требований к функциональному назначению возводимых объектов городской инфраструктуры, ввиду особенностей поведения людей при массовом передвижении. Исследования по данному вопросу не прекращаются на кафедре архитектуры в МГСУ уже не один десяток лет. Рассматриваются факторы, которые мотивируют поведение, как отдельного человека, так и всего людского потока при движении в транспортно-пересадочных узлах [1, 2]. Выявляются закономерности процесса движения, основные параметры людского потока, а также зависимости между ними, которые формируют костяк для особой методики расчета и моделирования процесса движения человека по пешеходно-коммуникационным комплексам в среде города.

Транспортно – пересадочные комплексы являются кластерами пересечения коммуникационных и функциональных связей в урбанизированной городской среде и распределяют мощные пешеходные и транспортные потоки. В качестве сегодняшнего примера пересадочного комплекса можно представить второй транспортно – пересадочный контур (МЦК), основанный на базе МКЖД в г. Москве.

Суммарная длина железнодорожных путей МКЖД составляет – 54 км с наличием 31 станции, из которых 26 будут пересадочными: 17 станций – с радиальными и кольцевыми станциями метрополитена и 9 станций – с железными дорогами. По прогнозам проектировщиков, этой

сеть будут пользоваться около 300 тыс. человек ежедневно, а в год более 300 млн. (рис. 1).

Диспропорции между объемами потоков (людских и транспортных) и пропускной способностью коммуникаций приводят к повышенной психологической напряженности процесса движения [3]. При этом возрастают затраты времени и энергии на передвижение, также появляется тот факт, что обеспечить безопасность движения людей становится невозможным [4].

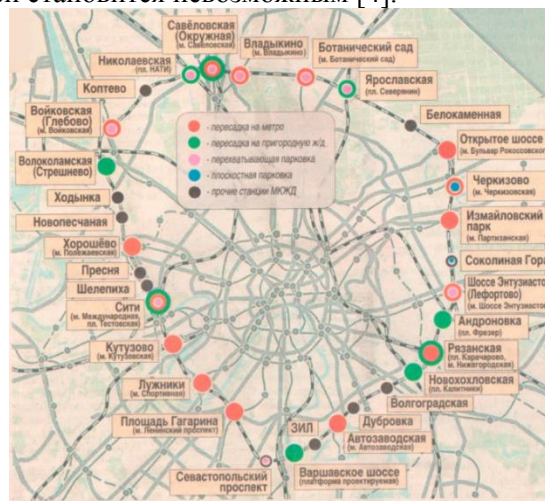


Рис. 1. Схема второго пересадочного контура МКЖД г. Москвы

Проектировщик сталкивается с рядом нетрадиционных задач, связанных с функционированием системы «человек – людской поток – коммуникации – городская среда». Этот комплекс задач становится сложно решить при обращении к

традиционным методам проектирования и расчета, такие методы не позволяют добиться желаемых результатов.

Главной идеей представленной работы является объединение некоторых групп задач локального характера в этапы решения общей задачи, опираясь на разработанные положения теории движения людских потоков [5].

Методы анализа. Основным методом решения поставленных задач является системно-эргонимический подход, позволяющий получить наиболее совершенные решения комплекса вопросов в ключе основной проблемы с учетом «человеческого фактора» [6]. Оценка эффективности функционирования эргатической системы производилась по ряду критериев, которые в обобщенном виде могут быть определены, как удобство и безопасность передвижения.

Основная часть. Методами структурно-системного анализа [7, 8] выполнено разбиение анализируемой системы на составляющие ее уровни-подсистемы (коммуникационный, системный, локальный и индивидуальный). Используя ступенчатую структуру анализа, по нисходящей от верхних уровней системы к нижним, с целью углубления в определенные вопросы теории движения людских потоков, выполнены практические и теоретические исследования специфики процесса передвижения людей в ТПУ (рис. 2).

На системном уровне осуществляется выделение системообразующих признаков для разностороннего анализа комплексных ТПУ, на основе которых выбираются критерии оценки качества организации пешеходного движения [9]. В рассматриваемом примере это безопасность и эффективность пешеходных взаимосвязей между центрами тяготения и генерации людских потоков, выраженных количественно в минимальных суммарных затратах энергии и времени на передвижение людей по системе пешеходных коммуникаций [10]. На основе функционально-структурного анализа, характера функционирования и объемно-планировочной организации ТПУ выявляются количественные и качественные характеристики пешеходного движения с определением степени влияния их друг на друга и в полной мере на всю систему. В плане проектно-технического аспекта системного подхода следует учитывать возможность одновременного решения ряда задач, используя группы разносторонних отдельных методик с целью получения нескольких возможных решений по основной проблеме. К ним следует отнести различные типы задач дистрибутивного класса, связанных с размещением объектов тяготения и генерации людского потока, а также множество задач, решаемых на сетях – трассирование и анализ жизнеспособности путей движения, получение рациональной конфигурации сети, и распределение потоков по элементам системы и выявление кратчайших маршрутов [11].

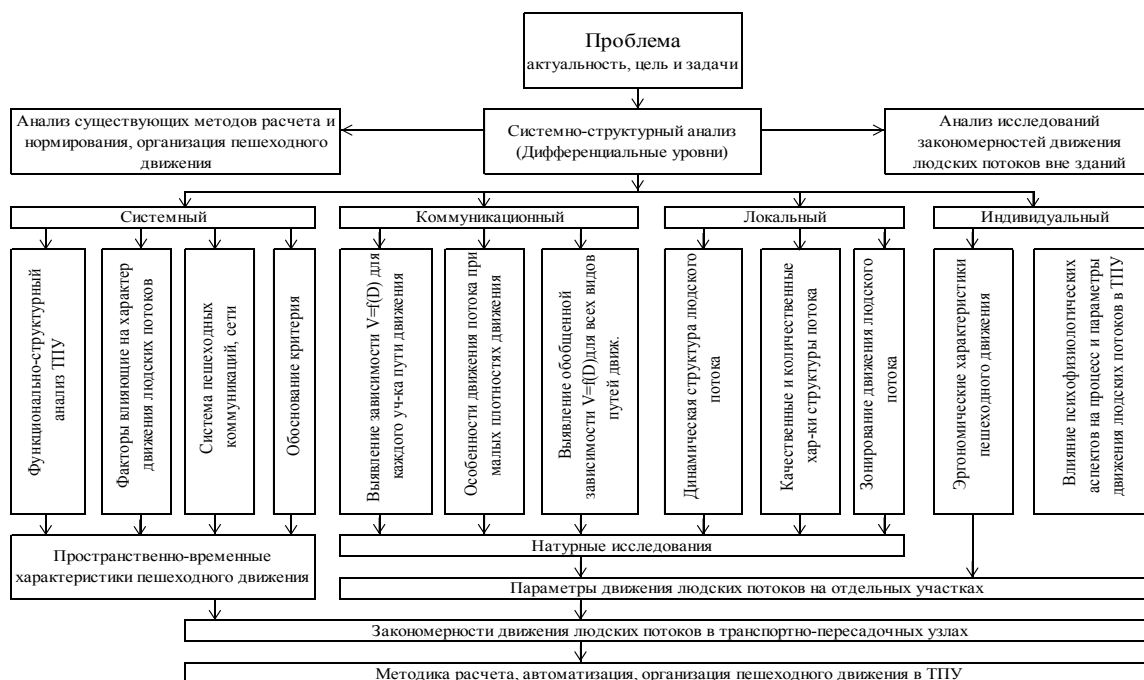


Рис. 2. Методологическая структура исследования закономерностей пешеходного движения в транспортно-пересадочных узлах

На коммуникационном уровне определялись закономерности процесса передвижения людских потоков на отдельных элементах системы пешеходных коммуникаций [12]. Чтобы получить основные функциональные зависимости $V = f(D)$ и $q = \psi(D)$ на различных участках путей движения, методом фотосъемки велась серия натурных наблюдений за процессом движения

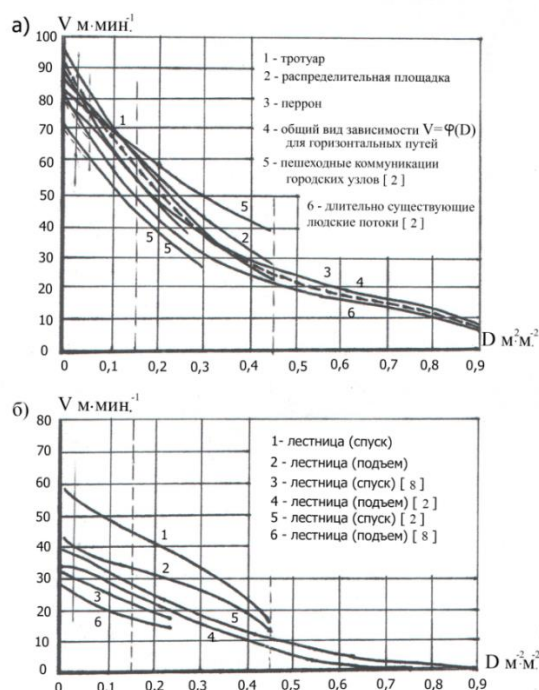


Рис. 3. Зависимость скорости движения (V) людских потоков от их плотности (D) на горизонтальных (а) и наклонных (б) участках путей движения

На локальном уровне рассматривались вопросы латентного состояния передвижения, при 5 малых значениях плотности (D), так как на городских коммуникациях плотности потока при обычных условиях движения обычно малы. Также проводились натурные наблюдения на уровне микроструктуры потока людей [13]. Количественные и качественные параметры динамической структуры потока, полученные в результате непосредственных наблюдений, формируют главные показатели, требующиеся для расчетов, связанных с нормированием параметров пешеходных коммуникаций в ТПУ [14].

На индивидуальном уровне рассматривались физические параметры и психофизические факторы, влияющие на особые свойства отдельно взятых участников движения и характер передвижения всего потока в совокупности [15]. Особенности параметров «личного пространства» (пешеходного модуля) определялись эргономическими методами для разных групп участ-

пассажиров (более 20 000 наблюдений). Зависимости, полученные в результате исследований, сравнивались с результатами предыдущих экспериментов в этой области, в зданиях, сооружениях и их комплексах. В результате проделанной работы мы получили единую обобщающую функцию (рис. 3, 4).

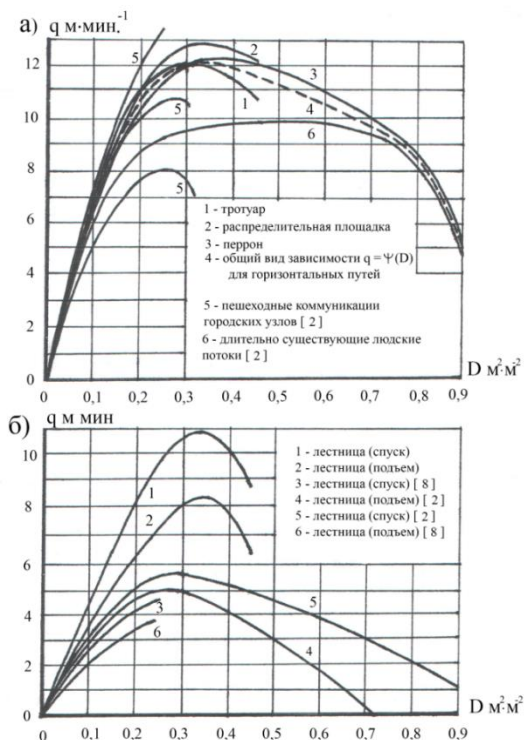


Рис. 4. Зависимость интенсивности движения людских потоков (q) от их плотности (D) на горизонтальных (а) и наклонных (б) участках путей движения

ников движения (учитывался возраст, преобладающее направление людей в зависимости от времени суток и некоторые другие параметры).

Выводы. Результатом этой работы является комбинированная методика расчета и нормирования путей движения людских потоков в ТПУ с применением современных расчетных моделей и систем. Работа прошла апробацию в практике архитектурно – строительного проектирования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Предтеченский В.М., Милинский А.М. Проектирование зданий с учетом организации движения людских потоков. М., Стройиздат, 1982, 386 с.
2. Буга П.Г., Шелков Ю.Д. Организация пешеходного движения в городах. М.; Высшая школа, 1980, 232 с.
3. Авдоткин Л.Н. Системный подход к актуальным проблемам градостроительной теории. // Архитектура СССР №10, 1968г. С. 28-34.

4. СНиП II-2-80. Пожарная безопасность зданий и сооружений // Госстрой СССР. М., 1980.
5. Ромм А.П. Количественные методы построения жизнеспособных путей движения. // Проектировщик. 1969. №2. С. 10–14.
6. Ромм А.П. Комплексная оценка и функциональное зонирование территории в градостроительном проектировании // Методические основы и компьютерные технологии. М., 2002. С. 122–128.
7. Дмитриев А.С., Алексаков Г.Н. Аналоговое моделирование в решении некоторых задач архитектурно-строительного проектирования. // Материалы региональной конференции, особенности проектирования и строительства жилья для районов Западной Сибири: СМИ Новокузнецк, 1990, С. 20–22.
8. Методика определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности // Министерство РФ по делам гражданской обороны, и ЧС. М., 2009.
9. Дмитриев А.С. Комбинированная методика расчета движения людских потоков в пешеходно-коммуникационных комплексах. // Тенденции развития строительства, теплогазоснабжения и энергообеспечения: материалы III международной научно – практической конференции ФГБОУ ВО СТАУ им. Н.И. Вавилова. 17-18 марта 2016г. Саратов: СТАУ, 2016, С. 86–90.
10. Павлова Л.И. Модель размещения центров тяготения людей // На стройках России 1973. №1. С. 14–17.
11. Холщевников В.В. Людские потоки в зданиях, сооружениях и на территории их комплексов 05.23.10. М., 1983. 479 с.
12. Холщевников В.В. Натурные наблюдения людских потоков // Академия ГПС МЧС РФ, 2001. С. 21–27.
13. ITE Technical Council Committee 5-R // Characteristics and Service Requirements of Pedestrians and Pedestrian Facilities // Traffic Engineering. 1976. Vol. 45. № 5. P. 34–45.
14. Дмитриев А.С., Феофанова А.И., Формирование современной среды жизнедеятельности с учетом организации процесса движения людей на городских коммуникациях // Тенденции развития строительства, теплогазоснабжения и энергообеспечения: материалы III международной научно – практической конференции ФГБОУ ВО СТАУ им. Н.И. Вавилова. 17-18 марта 2016. Саратов: СТАУ, 2016, С. 91–96.
15. Дмитриев А.С., Евстигнеев В.Д. Проблемы проектирования транспортно-пересадочных узлов с учетом организации движения людских потоков // Промышленное и гражданское строительство. 2016. №4. С. 3–41.

Информация об авторах

Дмитриев Александр Сергеевич, старший преподаватель кафедры проектирования зданий и сооружений.

E-mail: yalac24@gmail.com

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет.

Россия, 129337, Москва, Ярославское шоссе 26.

Евстигнеев Виктор Дмитриевич, магистрант кафедры технологии и организации строительного производства.

E-mail: victor88112@gmail.com

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет.

Россия, 129337, Москва, Ярославское шоссе 26.

Поступила в декабре 2017 г.

© Дмитриев А.С., Евстигнеев В.Д., 2018

A.S. Dmitriyev, V.D. Yevstigneyev TRANSPORT INTERCHANGE HUBS AND PROBLEMS OF HUMAN FLOWS TRAFFIC ORGANIZATION

A review of the functional and space-planning characteristics of transport interchange hubs (TIH) is substantiated by the relevance of the presented topic; the subject and the object of research are identified. As a basis of the research a systematic analysis is taken, which is differentiated into four main levels: communicational, systematical, local and individual. The regularities of human flows movement are researched at every level. The main parameters and their dependencies provide the basis for the development of integrated methods of calculation, modelling and regulation of pedestrian traffic pathways, which could be applied to the practice of architectural design of TIH.

Keywords: transport interchange hubs, pedestrian communications, human flows, ergonomics, laws of motion process, basic regularities and parameters, system approach, integrated method of calculation.

REFERENCES

1. Predtechenskiy V.M., Milinskii A.M. The Design of Buildings Taking Into Account the Organization of Movement of Human Streams. // Moscow, Stroizdat, 1982. 386 p.
2. Buga P.G., Shelkov J.D. The Organization of Pedestrian Traffic in the Cities. M.; Higher school, 1980, 232 p.
3. Avdotyin L.N. A Systematic Approach to The Topical Issues of Urban Planning Theory. // Architecture of the USSR № 10, 1968, pp. 28–34.
4. Construction Regulation Standards Building II–2–80. Fire Safety of Buildings and Constructions. Gosstroy of the USSR. M., 1980.
5. Romm A.P., Quantitative Methods of Constructing Viable Ways of Movement // Designer 1969, no. 2, pp. 10–14.
6. Romm A.P., Integrated Assessment and Functional Zoning of the Territory in Urban Planning // Methodical Bases and Computer Technologies-M., 2002, pp. 122–128.
7. Dmitriyev A.S., Aleksakov G.N. Analog Modeling in the Solution of Some Problems of Architectural-roadbuilding // Materials of the Regional Conference, Especially the Design and Construction of Housing to Areas of Western Siberia: Mass-media Novokuznetsk, 1990, pp. 20–22.
8. Methods of Determining the Estimated Values of Fire Risk in Buildings, Structures and Constructions Taking Into Account Different Classes of Functional Fire Hazard // Ministry of the Russian Federation For Civil Defense, and Emergency. M, 2009.
9. Dmitriyev A.S. A Combined Method of Calculating Traffic Flows to Pedestrian Communication Systems. // Trends in the Development of Construction, Heat and Gas Supply And Energy Supply: Proceedings of the III International Scientific and Practical Conference of FGBOU VO STAU N.I. Vavilov. March 17-18, 2016, Saratov: STAU, 2016, pp. 86–90.
10. Pavlova L.I. Model of Placement of People Gravity Centers // In the Construction Site of Russia, 1973, no. 1, pp. 14-17.
11. Kholschevnikov V.V. Human Flows in Buildings, Structures and on the Territory of Complexes 05.23.10. M., 1983, 479 p.
12. Kholshevnikov V.V. Field Observations of Human Flows // Academy of State Fire Service of GPR Emergency Service of the Russian Federation, 2001, pp. 21–27.
13. ITE Technical Council Committee 5-R // Characteristics and Service Requirements of Pedestrians and Pedestrian Facilities // Traffic Engineering, 1976, vol. 45, no. 5, pp. 34–45.
14. Dmitriyev A.S., Feofanova A.I., The Formation of a Modern Environment of Life, Taking Into Account the Organization of the Process of People Movement in Urban Communications // Trends in the Development of Construction, Heat And Gas Supply and Energy Supply: Proceedings of the III International Scientific and Practical Conference of FGBOU VO STAU N. N.I. Vavilov. March 17-18, 2016 Saratov: STAU, 2016, pp. 91–96.
15. Dmitriyev A.S., Yevstigneyev V.D. Problems of Transport Hubs Design, Taking Into Account the Organization of Human Streams Movement // Industrial and Civil Engineering, 2016, no. 4, pp. 39–41.

Information about the author

Aleksandr S. Dmitriyev, senior lecturer.

E-mail: yalac24@gmail.com

Moscow State University of Civil Engineering (National Research University).

Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoe sh., 26.

Viktor D. Yevstigneyev, Master student.

E-mail: victor88112@gmail.com

Moscow State University of Civil Engineering (National Research University).

Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoe sh., 26.

Received in December 2017

¹Колесникова Л.И., проф.,²Семенцов С.В., д-р арх., проф.¹Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова²Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет

БЕЛГОРОДСКИЕ ГОРОДСКИЕ УСАДЬБЫ XVIII в.

kolesnikova.li@bstu.ru

В статье рассматриваются исторические аспекты появления новой градостроительной политики в России на рубеже XVII–XVIII веков во времена правления Петра I, в связи с тем, что петровская эпоха явилась переломным этапом в истории русского градостроительства. В интересах государства проводилась градостроительная политика, которая должна была обеспечить необходимые противопожарные и санитарные меры. Описывается застройка Белгорода по новому регулярному плану 1768 г., разработанному архитектором А.В. Квасовым. Анализируется архитектура сохранившихся городских усадебных зданий каменного строения на примере дома купца Селиванова – замечательного памятника городской усадьбы, аналога которому в городе нет, и дома дворянки Ребининой, рассматриваются композиционные аспекты «образцовых» проектов для жилых домов конца XVIII в.

Ключевые слова: городская усадьба, генеральный план, объемно-планировочная композиция, образцовый проект, типовой, план дома, архитектурный декор.

На рубеже XVII – XVIII вв. жизнь в России была чрезвычайно богата событиями. Неотложная задача ликвидации экономической, политической и культурной отсталости России успешно решалась Петром I и его сподвижниками. Петровская эпоха явилась переломным этапом в истории русского градостроительства. В интересах государства проводилась градостроительная политика, которая должна была обеспечить необходимые противопожарные и санитарные меры. Интересы правящих классов требовали введения зонирования городской застройки по имущественным и социальным признакам. В этих условиях требованиям строительной политики государства лучше всего удовлетворяло плановое, регулярное строительство при помощи строгого строительного законодательства. С начала XVIII века государство начало предъявлять ряд новых требований к массовой городской застройке. Основными из них были повышенные требования к противопожарной безопасности, композиционному решению фасадов и размещению домов по красным линиям, согласно предварительно составленному проекту планировки. Единственным средством обеспечить регулярную застройку в условиях нехватки квалифицированных архитекторов и строителей было создание системы «образцового» или «типового», как теперь называют, проектирования. Появление системы типового проектирования в условиях значительно возросших в начале XVIII века темпов и масштабов строительства – было единственным средством обеспечить быструю и высококачественную массовую застройку городов на регулярной основе [1].

Анализ градостроительной политики, проводившейся в Российской империи с 1763 г. и анализ застройки исторической части Белгорода после пожара 1766 года, осуществленной по генплану, разработанному архитектором А.В. Квасовым и высочайше утвержденным Екатериной II 26 апреля 1768 г., дают представление не только о строительной политике, но проливают свет на историю сохранившихся городских усадебных домов. Из документов известно, что с утверждением нового плана города было «повелено»: «1) В помянутом городе строения производить каменное только казенное и публичное, в том числе и гостиный двор, да партикулярные дома, назначенные около площади в квартале под литерою «В» и внутри крепости, однако оставя жителям на их волю величину тех домов располагать, как они сами рассудят, но только держась во всем учиненного в плане положения и назначенных фасадов....

3)...Если же из жителей Белгорода найдутся такие, которые против назначенных фасадов без ссуды из казны построят своим коштом каменные дома, таких увольнять от постоя на 25 лет, а тех, которые посемууж деревянные дома выстроят – на 5 лет» [2].

К генеральному плану 1768 г. прилагались «Образцовые» проекты, которые были со временем утрачены, не рассматривая наиболее интересные городские усадьбы можно провести аналогии с образцовыми проектами, разработанными для крупных Российских городов, которые не запрещалось применять застройщикам из провинции. К таким домам можно отнести сохранившиеся до наших дней: дом купца Селиванова, дом

Мачурина, дом Ребининой, дом Курчанинова и ряд других домов. Рассмотрим два из них: дом купца Селиванова – один из замечательных памятников городской усадьбы, аналогов которому в городе нет, и дом дворянки Ребининой – интересные образцы жилых домов конца XVIII в., в архитектурном решении, которых видны характерные черты «образцовых» проектов.

Дом Селиванова (рис. 1) расположен в квартале, обозначенном на новом генеральном плане литерой «А», в котором регламентировалось строить только деревянные «дома» без погребов, а дом Селиванова – каменный, имеет «П» – образной формы план («П» – образные планы сложились к середине XVIII в.), в три этажа: цокольный, перекрытый каменными сводами, первый парадный и антресольный с мезонином на главном фасаде. Следовательно, можно предположить, что он был построен «своим коштом», т.е. без государственной ссуды, «по фасаду», выбранному на вкус хозяина. Дом купца Селиванова размещен в квартале, ограниченном улицами Вокзальной, Преображенской, Народным бульваром, Трубецкого. На картах города 1911 года периметральная застройка этого квартала отсутствует. Из чего можно сделать вывод, что вся территория квартала относилась к усадьбе Селиванова [3].



Рис. 1. Дом купца Селиванова. Главный фасад

В ведомости недвижимого имущества г. Белгорода, составленной в городской управе, усадьба описывается так: «Дом двухэтажный на погребках, два флигеля одноэтажные, конюшня, сарайчики каменные, амбар деревянный. Владельцы: наследники купца Александра Васильевича Селиванова». Дом оценен в пять тысяч рублей. Это был самый дорогой дом, т.к. многие другие дома и постройки в городе были оценены не выше ста рублей (по смете А.В. Квасова такой дом, как у купца Селиванова, стоил четыре тысячи двести восемьдесят один рубль) [4].

Функциональное назначение дома купца Селиванова постоянно менялось. Так, до 1874 года главный дом усадьбы был жилым, с 1774 по 1779 гг. здесь размещалась мужская гимназия [5],

с 1 августа 1904 г. дом был арендован для размещения в нем женской прогимназии Федченко-Якубович, которая с 1906 г. была преобразована в гимназию [6]. С 1918 г. дом был приспособлен под клуб железнодорожников, в дальнейшем здесь размещались жилые квартиры, а с 1962 г. Белгородэнерго. В 1967 г. к северо-восточному крылу дома был пристроен лабораторный корпус. В 1996 г. дом был передан областному литературному музею. В 1999 году была выполнена реставрация дома купца Селиванова с приспособлением под литературный музей.

Дом купца Селиванова – прекрасный образец дома-дворца. Во внешнем облике дома одновременно нарядном и строгом хорошо прослеживаются характерные черты зрелого классицизма. Довольно крупная постройка в три этажа: цокольный, верхний парадный и антресольный с мезонином на главном фасаде. Дом построен по красной линии ул. Преображенской (бывшей Сергиевской). Каменный, оштукатуренный объем с различным решением фасадов. Под высокой четырехскатной крышей. Композиционный центр главного фасада выделен центральным ризалитом в три оси. Оформленный четырехколонным коринфским портиком с балконом в уровне первого этажа, фланкирован неглубокими боковыми ризалитами в одну ось каждый. Завершен колонный портик антаблементом и полуфронтонном, с крупной аркой под ним, за которой расположено полуциркульное окно мезонина. Боковые ризалиты украшены ионическими полуколоннами, фланкирующими прямоугольные окна, завершены полуфронтами на кронштейнах в виде акантовых листьев, между которыми расположены полуокружности, украшенные лепным орнаментом. Фасадный декор здания образуют: квадратная рустовка цокольной части ризалитов, пилястры, большие прямоугольные окна парадных помещений, небольшие квадратные окна антресольного этажа, со стороны главного фасада прямоугольные ниши, лепной карниз, отделяющий первый этаж от антресольного, прямоугольный сандрик над дверным проемом выхода на балкон и профилированный карниз с мутулами [7].

«Домовладение дворянки Ребининой» состоит из двух зданий: двухэтажного по проспекту Славы, № 57 и одноэтажного № 57-а, расположенного в глубине жилого квартала на территории бывшей городской усадьбы дворянки Ребининой, владевшей усадьбой в конце XIX – начале XX вв. (рис. 2)

Двухэтажный дом № 57, построенный в конце XVIII века по генеральному плану А.В. Квасова, владелица отдала под богадельню для

обедневших дворян. Призревалося в ней 11 человек. Все расходы на содержание заведения оплачивала сама Ребинина, а патронировали богателю монахи Свято-Троицкого мужского монастыря. В годы первой мировой войны здание было передано под госпиталь, а в 1930-х годах здесь размещалась начальная школа. Потом сюда перевели из педагогического техникума по улице Народной начальную школу № 5. Здесь они и размещались вместе, а через год школу № 5 перевели на улицу Вокзальную. Во внеурочное время Белгородский филиал «Союзоргучёта» проводил здесь курсы счетоводов и бухгалтеров. В начале Великой Отечественной войны дом снова переоборудовали под военный госпиталь для советских солдат и офицеров, а когда Белгород заняли немецко-фашистские захватчики, они устроили здесь комендатуру. Впоследствии в полуподвальном этаже дома разместился магазин «Овощи», а верхний был отдан под жильё.



Рис. 2. Дом дворянки Ребининой. Общий вид дома

Жилой дом № 57 в домовладении дворянки Ребининой – это двухэтажное, «П» – образное в плане, кирпичное здание. Уличный длинный фасад в 9 оконных осей обращен к проспекту Славы. Цокольный этаж (для устройства «погребов» – подвалов) невысокий имеет сводчатые перекрытия, с небольшими первоначальными квадратными окнами (часть окон растесана во второй половине XX века), второй этаж – более высокий с крупными прямоугольными окнами, в объемно-планировочной композиции дома является парадным этажом. Торцовые уличные фасады в восемь оконных осей (часть проемов заложены). Первый этаж на главном фасаде декорирован кирпичным рустом с крупными замковыми камнями над окнами. Над центральными окнами второго этажа помещены прямые профилированные

сандрики, под подоконными досками окон второго этажа расположены рельефные рамы с рельефными окружностями по их центрам. Огибающие лопатки на главном фасаде декорированы кирпичным рустом. Фасады завершены профилированным карнизом. Дворовый фасад изменен поздними пристройками. Крыша – четырехскатная, кровельное железо заменено на шифер. Планировка первого и второго этажей изменена.

Анализируя архитектурную композицию домов купца Селиванова и дворянки Ребининой можно констатировать применение при их строительстве «образцовых» проектов, что было характерной чертой русского градостроительства второй половины XVIII века, когда распространение типового и повторного строительства на всей территории страны стало массовым явлением. Для жилых зданий были разработаны одно и двухэтажные дома на «погребах», дома были трех типов: с мезонином, с фронтоном над центральным ризалитом и дома под ровным карнизом в 7–9 осей по фасаду с выделением трех, реже пяти центральных окон. В это же время разрабатывается «П» – образный план для жилых домов, получивший массовое применение. Объемно-планировочная композиция дома Селиванова характерна для времени зрелого классицизма, а дома Ребининой с его архитектурной декорацией – характерны для архитектуры раннего классицизма [8].

Источник финансирования. Программа развития опорного университета на базе БГТУ им. В.Г. Шухова.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ожегов С.С. Типовое и повторное строительство в России в XVIII-XIX веках. 2-е изд. М.: Стройиздат, 1984, 224 с.
2. Дренякин А.М. Белгород с уездом. Х., 1882, С 10–11.
3. ГАКО Ф. 325, оп. 1, ед. хр. 19, 1911 г.
4. ГАБО. Ф. 22, оп. 1., ед. хр. 63. 1915 г.
5. Курские епархиальные ведомости, 1874. №17. 888 с.
6. Кулегаев И. Путеводитель по Белгороду. Белгород, 1911. 43 с.
7. Колесникова Л.И. Памятник классицизма – дом Селиванова // Памятники отечества. М., 2000. 62 с.

Информация об авторах

Колесникова Людмила Ильинична, Заслуженный архитектор РФ, профессор кафедры архитектура и градостроительство.

E-mail: kolesnikova.li@bstu.ru; arh.lik@yandex.ru

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.

Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Семенов Сергей Владимирович, доктор архитектуры, профессор кафедры архитектурного и градостроительного наследия.

E-mail: s.sementsov@mail.ru

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет.

Россия, 190005, Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д. 4

Поступила в сентябре 2017 г.

© Колесникова Л.И., Семенов С.В., 2018

L.I. Kolesnikova, S.V. Sementsov

BELGOROD CITY MANSIONS OF THE XVIII CENTURY

The article deals with the historical aspects of the appearance of a new urban development policy in Russia at the turn of the 17th and 18th centuries during the reign of Peter the Great, due to the fact that this era was the turning point in the history of Russian town-planning. In the interests of the state the urban policy was carried out, which was intended to provide the necessary fire-prevention and sanitary measures. The article describes the construction in Belgorod according to a new regular plan in 1768, designed by the architect A.V. Kvasov. It analyzes the architecture of the extant stone-built city manor buildings through the example of the House of merchant Selivanov – a remarkable architectural monument of urban homesteads, having no counterparts in the city, and the House of the noblewoman Rebinina. The compositional aspects of "exemplary" designs for houses in the end of the 18th century are considered.

Keywords: Manor House, master plan, space-planning arrangement, exemplary model project, standard house plan, architectural décor.

REFERENCES

1. Ozhegov S.S. Model and repeated construction in Russia in 18-19 centuries. 2-nd ed.-m.: Stroizdat, 1984, 224 p.
2. Drenjakin A.M. With district of Belgorod. H., 1882, 10–11 p.
3. GAKO. F. 325, op. 1, ed. xr. 19, 1911.
4. GABO. F. 22, op. 1, ed. xr. 63. Mr. 1915.
5. Songs of Diocesan, 1874, no. 17, 888 p.
6. Kulegaev I. Guide to Belgorod. Belgorod, 1911, 43 p.
7. Kolesnikova L.I. Monument of classicism-House Selivanova // Monuments of the fatherland. M., 2000, 62 p.

Information about the authors

Lyudmila I. Kolesnikova, Professor.

E-mail: kolesnikova.li@bstu.ru; arh.lik@yandex.ru

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov.

Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Sergei V. Sementsov, PhD, Professor.

E-mail: s.sementsov@mail.ru

Saint-Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering,

Russia, 190005, Saint-Petersburg, 2-ya Krasnoarmeiskaya st. 4

Received in September 2017

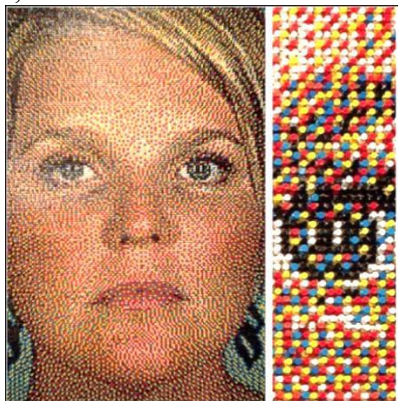
*Горожанкин В.К., ст. препод.**Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова***АРТ-МОРФОЛОГИЯ АРХИТЕКТУРНОЙ ЭСПОЗИЦИИ****gorozhankin.vk@bstu.ru**

Арт-объекты и арт-ландшафты – произведения массового искусства, созданные из промышленных материалов и с помощью промышленных технологий. Арт-морфология переносит центр зрительского внимания с субстанциональных ценностей прежде телесной и зримой материи вещи на её образно-символическое «вещание». Сфокусированные на средствах коммуникации, арт-предметы многослойны и возвращают нас к формам «чистого искусства», теперь уже требующих сюжетно-тематического моделирования их экспозиции. Арт-формообразование связано с семиотизацией предметов пространственной среды и с процессом семиозиса (расширения их смыслов путём комбинации знаковых форм). Метод создания арт-морфологии предполагает организацию мизансцен и заключён в выявлении (или в создании) символов (арт-предметов) и в их размещении в пространстве зрелища арт-объектов.

Ключевые слова: арт-форма, арт-ландшафт, арт-мифология, арт-среда стиля.

Семиотизация материала искусств ведёт к многослойному представлению формы традиционных произведений и к подмене материала отдельных слоёв для выражения символического контента [5]. Такие обстоятельства преобразования формы предмета фиксирует префикс «арт-». Рассмотрим конкретные примеры арт-морфологии.

1. *Арт-объект.* Новые материалы индустриального производства участвуют в создании произведений и в появлении новых видов искусств. Так, американский художник Эрик Даг открыл жанр «кнопочной живописи», создавая портреты из разноцветных канцелярских кнопок (рис.1). В отличие от рисующих красками портретистов, Эрик использует палитру производителей кнопок, ограниченную несколькими цветами, без оттенков и возможности их смешивать.



Материал его живописи определил методику работы: вначале Даг превращает портрет в подобие схемы для вязания или вышивки крестиком. Он разбивает фотографию на клеточки и каждой присваивает номер и цвет, а лишь затем воспроизводит изображение из канцелярских кнопок. На каждую картину он тратит десятки тысяч кнопок и несколько месяцев работы, получая портреты диковинного цвета, но очень интересные и, главное, реалистичные. Необычный материал, противясь реализму, скрывает сопротивление, которое нужно преодолеть, и в этом заключена основная идея кнопочного жанра. Вероятно, подтверждая художественный статус произведений из материалов промышленности, к новому жанру добавляется префикс «арт»: арт-портреты Э. Дага, арт-монументы К. Ольденбурга и им подобные арт-формы.



Рис. 1. Арт-портреты в манере Эрика Дага. Северный Мичиган, 2012

2. *Арт-коллаж.* Задача, возникшая из необходимости озеленить «эксплуатируемую крышу» на девятом этаже института биомедицинских ис-

следований в Кембридже на первый взгляд казалась невыполнимой. Конструкция изначально не была рассчитана на вес горшков с землёй, а также, тратить питьевую воду на полив растений

обошлось бы не менее дорого, чем усилить перекрытие. В этой проблемной ситуации Марта Шварц изобрела «сад дизайн-коллаж» – декорацию из пластмассы, «соединившей» геометрию французского плана с «магической геометрией» восточного сада – так впервые был получен арт-ландшафт [8]. Им стала сцена бутафорского сада для интерактивных прогулок (рис. 2).



Рис. 2. Марта Шварц. Сплэйс Гарден в Уайтхедском институте биомедицинских исследований. Кембридж, 1986

3. Арт-ландшафт. Следующие проекты Марты Шварц совершенствуют принцип коллажа в создании пейзажных инсталляций [15]. Ярким примером метода арт-формализма может

служить её «Ржавый парк» (рис. 3). Контрастируя с живыми материалом и цветом деревьев, поржавевшее железо сохраняет тектонику стволов и рисунок ветвления, ажурность кроны, интерпретируя естественные черты в подчеркнuto – геометрической, искусственной форме. Шаровидные кроны расположенных вдали деревьев, дополняют пирамидальные конструкции на ближнем плане, что, по законам пейзажного жанра, обеспечивает живописные виды при смене ракурса восприятия [14], [10]. Символика, усиленная ненатуральностью ржавой инсталляции, обладает двусмысленным кодированием: при рассеянном свете заметна её схожесть со сказочным лесом, но для зрителя с другим настроением очевидны пни, выкорчеванные с корнями на поверхность [11].

4. Арт-предметизация. Особое место проектная мысль отводит названию темы (арт-формы) или имени (арт-объекта). Таким предметом для творческого коллектива «Тандем» в проектировании интерьеров отеля с испанским оттенком явился ВЕЕР – атрибут костюма и символ испанской культуры (рис. 4). Семиотический дискурс позволил авторам выразить найденный символ в арт-предметах интерьера: создать оконную прорезную штору (из вееров) и (основанное на динамике веера) ажурное подвесное кресло (рис. 5).

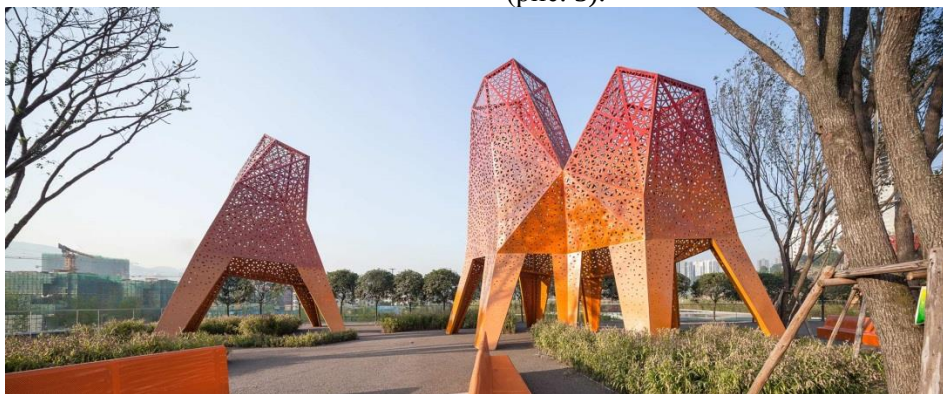


Рис. 3. Марта Шварц. «Ржавый парк» в Фенгминге, 2003



Рис. 4. Горожанкин А, Федоренко О. Веер – атрибут испанского гардероба и графема веера (в виде эмблемы «Тандем»)



Рис. 5. Штора-веер и кресло-опакало: арт-формы «испанского оттенка»

5. *Арт-мифология.* «Без мифа архитектура мертва», указывал на связь формы и архитектурного содержания Гегель, явно интерпретируя единство теории и практики архитектуры, взятое им из текста Витрувия [7]. Единое начертание терминов фабула и миф подтверждает тождественность их смыслов в языке древних греков [4]. Действуя в реальной обстановке с естественными материалами, архитектор связывает свои действия и их результаты с мифологией и её морфотипами. Каннелюры колон появились на деревянном стволе для усиления светотеневой модели цилиндра – по версиям К. Штиглица и О. Шуази. Или, иную семантическую версию происхождения каннелюр как желобков для истечения небесных вод, заключённых в эхине, из античного мифа – орошения земли небесными водами – развивает Н. Павлов [9]. Метод организации мизансцен (расстановки героев на сцене) заключён в создании символов и размещении в пространстве «узнаваемых» знаков, указывающих на события, актуальные для режиссуры зрелища архитектуры [1]. Вероятно, поэтому, метод генерализации реальных событий (фабулы) в легенде (сюжете) и её пространственное оформление в сцене для созерцания (действия) и раздумья (переживания) – архитекторы использовали в проектировании мемориальных комплексов послевоенных лет [12]. На нашей сцене (рис. 6) представлены созданные художником слои символической морфологии комплекса «Хатынь»: «путь» и «калитка», «деревья жизни», «колокол памяти» в «сгоревшей избе», крыша сожжённого сарая; «кладбище земель» и «стена памяти погибших деревень», «непокорённый человек» – это слои формы мемориала [6]. В этом метафорическом ландшафте зритель «проходит» трагический путь жителей деревень Белоруссии [3].

6. *Арт-аппликация.* На бетонной аллее Москва-Сити, расположенной выше 3х этажей подземной автостоянки, где дерево не посадить, дефицит зелени частично восполняет фотопечать на плёнке, спрятанная в стеклопакетах (рис. 7). Подобный приём включения фотографий «живой природы», размещённых на фоне уже переработанных материалов «второй природы», использовали архитекторы как выразительное средство весеннего пробуждения в кафе «Апрель» (рис.8).



Рис. 6. Сценеграмма мемориального комплекса Хатынь

7. *Арт-среда в «китайском стиле».* Сценарий в жанре арт-мифа [13] отличается структурой от сюжетов арт-формализации, как было показано на примерах «Ржавого парка» и «Отеля с испанским оттенком». Моделирование китайского стиля – задача, возникшая в 2002 году у проектировщиков ресторана «Китавазия» на Калининском проспекте в Москве [2]. Преобразованный средствами массовой информации, зооморфный пантеон Китая явился в нержавеющей арт-скульптуре Дракона. Объединив двухсветное пространство залов, полированный дракон здесь символизирует метаморфозы восточной кухни (рис.9, пункты 1,2). Китайская мифология допол-

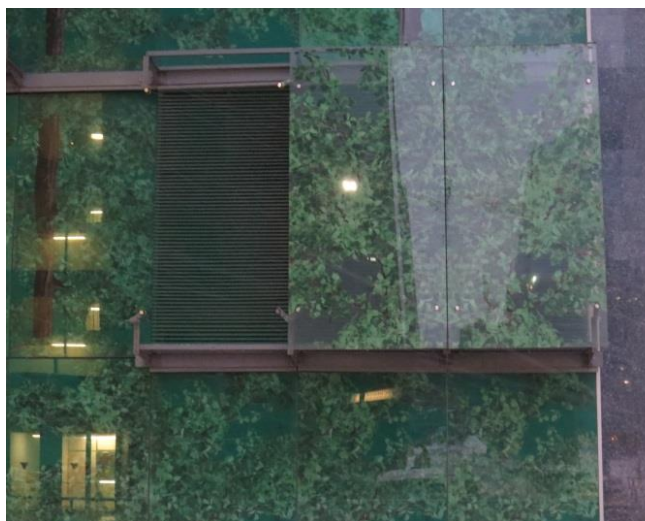


Рис. 7. «Арт-принт» в стеклопакетах – экстерьер Москва-Сити, 2014.



Рис. 8. «Арт-принт» в интерьере «кафе апрель». Москва, 2005.

нилась на фоне современной находки в раскопках 1976 года - «войска терракотовой армии Ши-Хуанди». Армейские артефакты были «цитированы» в ресторане (рис.9, пункт 3). Легенда о поминальных записках, подвешенных к потолкам храмов конфуцианской религии транслировалась авторами в мир в виде листов отзывать и пожеланий, встречающих входящих в ресторан (рис.9, п.3). Арт-объекты «нэцкэ» создают зрелище у бара, то скрываясь, то возникая из темноты в ячейках ниш (рис.9, п.4). Доу Гонг, заменивший коринфскую капитель, стал арт-формой в китайской манере (рис.9, п.1,5). Арт-инсталляция порхающих мотыльков – аллюзия «шёлкового пути» (рис. 9 п.6).



Рис. 9. Горожанкин А., Горожанкина М. Экспликация арт-предметов ресторана Китавазия. Москва, 2002

8. *Заключение.* Витрувианское обращение к Цезарю, пересказанное на современном языке, прозвучало бы «архитектура – это обращённый к мифам язык, рассказывающий о пользе, прочности и красоте построек». **Словесность** (говорящая о «пользе»), **изобразительность** (рисующая «красоту») и **(бессловесная) выразительность материала** (очевидная «прочность») – такой набор категорий разум не принимает субстанцией архитектурной формы. Поэтому, дизайнеру приходится прибегать к семиозису, в котором возникает арт-морфология.

Источник финансирования. Программа развития опорного университета на базе БГТУ им. В.Г. Шухова.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Архитектурная композиция садов и парков. ЦНИПИ по градостроительству: Под общ. ред. А.П. Вергунова. М.: Стройиздат, 1980. 254 с.
2. Архитектурная премия 2002, каталог номинантов издательского дома Salon. М.: 2002. С. 142–145.
3. Беляева Е.Л. Архитектурно-пространственная среда города как объект зрительного восприятия. М., Стройиздат, 1977. 126 с.
4. Вуек Якуб. Мифа и утопии архитектуры XX века. М.: Стройиздат, 1990. 286 с.
5. Генисарецкий О.И., Бизунова Е.М. Теоретические и методологические исследования в дизайне /ТЭ№61/ М.: Труды ВНИИТЭ, 1990. 236 с.
6. Горожанкин В.К., Храбатина Н.В. Слои формы в архитектурной экспозиции // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. № 2. С. 44–47.
7. Ильенков Э.В. Гегель Г.В.Ф. Философский энциклопедический словарь. М.: Советская энциклопедия, 1989. С.110–112
8. Лазарева М.В. Марта Шварц – смелый создатель бетонных лужаек // АCADEMIA. Архитектура и строительство. 2008. №4. С. 18–21.
9. Павлов Н.Л. Архаические представления о пространстве и времени в европейской традиции античного ордера // «Архитектура мира» Материалы конференции «Запад-Восток: античная традиция в архитектуре». Выпуск 3. ВНИИТАГ М.:ARCHITECTURA, 1994. С.178 180.
10. Саймондс Дж. Ландшафт и архитектура. М.: Стройиздат, 1965. 193 с.
11. Средства дизайн-программирования. М.: ВНИИТЭ, 1987. 84 с.
12. Страутманис И.А. Информационно- эмоциональный потенциал архитектуры. М.: Стройиздат, 1978. 120 с.
13. Фремптон К. Современная архитектура. Критический взгляд на историю развития. М.: Стройиздат. 1990, 535 с.
14. Хоум Г. Основания критики. М.: Искусство, 1977. 615 с.
15. Шимко В.Т. Основы дизайна и средовое проектирование: М.: Архитектура-С, 2005. 160 с.

Информация об авторах

Горожанкин Валентин Константинович, старший преподаватель кафедры архитектуры и градостроительства. E-mail: gorozhankin.vk@bstu.ru; vk.goro@yandex.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила в декабре 2017 г.

© Горожанкин В.К., 2018

V.K. Gorozhankin

ART AS THE MORPHOLOGY OF ARCHITECTURAL EXPOSITION

Art objects and art landscapes are works of popular art created from industrial materials and by means of industrial technologies. Art morphology shifts the audience's attention from the substantial values of the previously bodily and visible matter of an object to its figurative and symbolic "broadcasting". Focused on the means of communication, art objects are multi-layered and bring us back to the forms of "pure art", which now require the plot-thematic modeling of their exposition. Art-shaping is connected with making symbols out of objects in the spatial environment and with the process of semiosis (the expansion of their meanings through a combination of symbolic forms). A method of creating morphology involves organizing mise-en-scenes and consists in finding (or creating) symbols (art objects) and their placement in the view area of art facilities.

Keywords: art form, art landscape, art mythology, art environment of style.

REFERENCES

1. The architectural arrangement of gardens and parks. TSNIPI for urban planning: Under the General editorship of A. P. Vergunova. M.: Stroyizdat, 1980, 254 p.
2. Architectural award 2002, catalog of nominees of the publishing house Salon. M.: 2002, pp. 142–145.
3. Belyaeva E.L. Architectural and spatial environment of the city as an object of visual perception. M., Stroyizdat, 1977, 126 p.
4. Jakub Wujek. Myth and utopia of the archetypes-tours of the twentieth century. Moscow: Stroyizdat, 1990, 286 p.
5. Genisaretsky O.I., Uzunova E.M. Theoretical and methodological studies in design /TE no. 61/ M.: Proceedings of VNIITE, 1990, 236 p.
6. Gorozhankin V.K., Granatina N.In. The layers form in the architecture of the exhibition // Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2018, no. 2, pp. 44–47.

7. Ilyenkov E.V., Hegel G.W.F. Philosophersky encyclopedic dictionary. Moscow: Soviet encyclopedia, 1989, pp. 110–112

8. Lazareva M. V. Mar Schwartz – the Creator of bold concrete lawns // Architecture and construction, 2008, no. 4, pp. 18-21.

9. Pavlov N.L. Archaic ideas about space and time in the European tradition of the ancient order // "Architecture of the world" conference Materials "West-East: ancient tradition in architecture". Issue 3. VNIITAG, Moscow: ARCHITECTURA, 1994, pp. 178 180.

10. Simonds George. The landscape and architecture. Moscow: Stroizdat, 1965. 193 p.

11. Means of design programming. Moscow: VNIITE, 1987. 84 PP.

12. Strautmanis I. A. Information and emotional potential of architecture. Moscow: Stroyizdat, 1978. 120 p.

13. The Frampton K. Modern architecture. A critical look at the history of development. M.: Stroyizdat, 1990, 535 p.

14. Home G. Grounds of criticism. Moscow: Iskusstvo, 1977, 615 p.

15. Shimko V.T. Fundamentals of design and the targeted-environmental none design. M.: Architecture, 2005, 160 p.

Information about the authors

Valentin K. Gorozhankin, Senior lecturer.

E-mail: gorozhankin.vk@bstu.ru; vk.goro@yandex.ru.

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov.

Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received in December 2017

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

DOI: 10.12737/article_5abfc9be87f4d8.73038047

*Изотова И.А., аспирант,
Бондаренко Н.И., канд. техн. наук, доц.,
Борисов И.Н., д-р техн. наук, проф.,
Клименко В.Г., канд. техн. наук, доц.,
Слабинская И.А., д-р экон. наук, проф.*

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПЛАЗМЕННОЙ ОБРАБОТКИ НА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА КОМПОЗИЦИОННЫХ СТЕКЛОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

bondarenko-71@mail.ru

В статье представлены результаты исследований влияния плазмохимического модифицирования на эстетические и эксплуатационные свойства композиционного стеклокристаллического материала. Разработаны оптимальные составы композиционных стеклокристаллических материалов на основе боя цветных тарных стёкол, боя фарфора и жидкого стекла. Показано, что композиционный стеклокристаллический материал обладал повышенными механическими свойствами и относительно невысокими эстетическими показателями. Установлено, что в процессе плазменной обработки лицевая поверхность подвергается огненной полировке с образованием высококачественного покрытия. При высокотемпературном воздействии струи поверхность стеклокристаллического материала разогревается до 2000 °С, в результате чего происходит обогащение лицевой поверхности оксидами кремния, алюминия и обеднение щелочными и щелочноземельными оксидами. Экспериментально подтверждено, что после плазмохимического модифицирования повышаются коэффициент диффузионного отражения, водостойкость, кислотостойкость, щелочестойкость и термостойкость лицевой поверхности композиционного стеклокристаллического материала.

Ключевые слова: *плазмохимическое модифицирование, композиционный стеклокристаллический материал, коэффициент диффузионного отражения, водостойкость, кислотостойкость, щелочестойкость, термостойкость.*

Введение. В настоящее время современное жилищное строительство предусматривает широкое использование различных облицовочных материалов, а также стекловидных, органоминеральных и органических защитно-декоративных покрытий. Это способствует существенному повышению архитектурно-художественной выразительности зданий и сооружений.

Отделочные работы в общем объёме затрат на строительные работы значительно удорожают стоимость 1 м² жилья. Поэтому разработка высококачественных, недорогих облицовочных материалов позволили решить проблему снижения стоимости отделки зданий и сооружений.

Одним из путей снижения себестоимости стеклокристаллических облицовочных материалов является использование в качестве исходного сырья отходов промышленности и вторичных материалов. Предложено в качестве вторичных материалов использовать бой стеклотары, сбор и промышленная переработка которой в России до настоящего времени должным образом не налажена.

В связи с вступлением в силу технического регламента Таможенного союза в 2012 году на

территории Российской Федерации, Казахстана и Беларуси запрещено вторичное использование тары. В этой связи необходимо создавать энергосберегающие технологии получения эффективных стеклокристаллических материалов с использованием боя тарных стёкол.

Стеклокремнезит и стеклокерамит являются традиционным облицовочным материалом, уступающим по своим декоративным и эксплуатационным свойствам глазурованной керамической плитке и керамограниту [1].

В настоящее время ведутся работы в области разработки облицовочных стеклокристаллических материалов. Так, разработана и апробирована технология получения облицовочного стеклокерамического композиционного материала [2]. Использование колеманита совместно со стеклосодержащими листовыми и тарными стёклами позволило получить безупрочные стеклокристаллические материалы [3–5].

С целью повышения эстетико-потребительских свойств производят плазмохимическое модифицирование лицевой поверхности различных стеновых строительных материалов [6–9]. Плаз-

мохимическое модифицирование не только улучшает качество лицевой поверхности за счёт огневой полировки, но и повышает эксплуатационные свойства [10]. Эффективные защитно-декоративные покрытия с использованием боя цветных тарных стёкол и жидкого стекла были получены при плазмохимическом модифицировании стеновых строительных материалов автоклавного твердения [11–15]. Бой цветных тарных стёкол вводили в состав защитно-декоративных покрытий на бетоне с использованием в качестве связующей основы глинозёмистого цемента [16].

Методология. На основе смеси боя тарных стёкол, боя отходов фарфорового производства и жидкого стекла разработаны эффективные составы, позволяющие получить стеклокристаллический облицовочный материал с повышенными механическими свойствами. Прочность на сжатие такого материала достигала 78 МПа. Однако лицевая поверхность обладала неравномерным блеском, имеющим участки с матовой поверхностью, иногда с бугристой фактурой.

С целью устранения данных дефектов лицевой поверхности стеклокристаллического материала использовали технологию плазмохимического модифицирования. Плазмохимическое модифицирование облицовочной стеклокристаллической плитки размером 50×50×10 мм проводили на специально смонтированном стенде, позволяющем проводить плазменное оплавление при фиксированных скоростях прохождения плазменной струи по лицевой поверхности.

Высокотемпературным источником служила электродуговая установка «Горыныч». Параметры работы плазматрона были следующие: ток – 8 А, напряжение – 150 В, температура плазменной струи – 6000 °С, скорость прохождения плазменной струи по поверхности стеклокристаллической плитки – 10–12 мм/с.

Основная часть. Химический состав тарных стёкол, используемых в качестве основы стеклокристаллического материала, представлен в табл. 1.

Таблица 1

Химический состав тарных цветных стёкол

Марка стекла	Цвет	Содержание оксидов, мас. %								
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	Fe ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	Co ₃ O ₄	SO ₃
ЗТ-1	зеленый	71,0	3,5	8,0	3,0	14,0	0,8	–	–	0,4
ЗТ-2	изумрудный	69,0	3,8	8,5	2,5	14,0	0,5	0,2	–	0,3
КТ	коричневый	71,4	3,3	8,0	3,0	14,0	1,5	–	–	0,3
–	синий	64,25	1,76	8,27	6,51	19,28	0,14	–	0,062	0,12

С целью повышения прочностных характеристик в состав стеклокристаллического композита вводили бой фарфора. Натриевое жидкое

стекло вводили в состав для снижения температуры спекания.

Разработанные составы масс представлены в табл. 2.

Таблица 2

Состав и свойства композиционных стеклокристаллических материалов

№	Наименование стеклавкомпозиате	Содержание компонентов, %			Прочность на сжатие, МПа	Водопоглощение, %	Изменение размеров, %
		стекло-бой	бой фарфора	жидкое стекло			
1	Зеленое ЗТ-1	85	5	10	67	0,28	-1,95
		80	10	10	76	0,31	-1,85
2	Изумрудное	85	5	10	69	0,21	-2,15
		80	10	10	78	0,25	-2,01
3	Коричневое КТ	85	5	10	64	0,32	-1,91
		80	10	10	75	0,37	-1,79
4	Синее тарное	85	5	10	54	0,36	-1,89
		80	10	10	74	0,43	-1,69

После плазмохимического модифицирования композитов зелёного, изумрудного, коричневого, синего цветов исследовали эстетические и эксплуатационные свойства огненно-полированной поверхности составов с содержанием 80 % стеклобоя, 10 % боя фарфора и 10 % жидкого стекла.

В число основных эксплуатационных свойств композиционных стеклокристаллических материалов входит термостойкость. Термостойкость композита до и после плазмохимического модифицирования представлена в табл. 3.

При плазмохимическом модифицировании происходит микрозакаливании огненно-полированной поверхности.

Таблица 3

Термостойкость композиционного стеклокристаллического материала

№	Наименование стекла в композите	Термостойкость (Т), °С	
		До плазменной обработки	После плазменной обработки
1	Зеленое ЗТ-1	96	112
2	Изумрудное ЗТ-2	92	106
3	Коричневое КТ	94	108
4	Синее тарное	96	110

Одним из показателей качества лицевой поверхности является коэффициент диффузорного отражения (КДО, %). В таблице 4 представлены значения КДО композиционных стеклокристаллических материалов до и после плазмохимического модифицирования.

После плазменного оплавления КДО огненно-полированной поверхности значительно повысился (таблица 4).

При прохождении плазменной струи по лицевой поверхности композиционного стеклокристаллического материала со скоростью 10 мм/с

лицевая поверхность разогревалась до температуры 2000 °С. За счёт высоких температур плазменной струи происходило испарение с лицевой поверхности щелочных и щелочноземельных оксидов. Поверхность прогревалась в среднем до 2000–2500 мкм и обогащалась оксидами кремния, алюминия. Это приводило к повышению химической устойчивости, в частности, водостойкости, кислотостойкости и щелочестойкости лицевой поверхности (табл. 5).

Таблица 4

КДО до и после плазмохимического модифицирования

№	Наименования стекла в композите	КДО, %	
		До плазменной обработки	После плазменной обработки
1	Зеленое ЗТ-1	62	72
2	Изумрудное ЗТ-2	64	76
3	Коричневое КТ	58	69
4	Синее тарное	56	67

Таблица 5

Химическая устойчивость огненно-полированной поверхности стеклокристаллического композиционного материала

№	Наименование стекла в компо- зите	Водостойкость				Кислотостой- кость, 1Н НСl		Щелочестой- кость, 1Н NaOH	
		0,01ННСl, см ³		Гидролитический класс					
		обработка		обработка		обработка		обработка	
		до	по- сле	до	после	до	после	до	после
1	Зеленое ЗТ-1	3,62	2,44	IV	III	97,4	98,3	93,8	94,9
2	Изумрудное ЗТ-2	3,84	2,71	IV	III	96,3	97,1	92,8	94,2
3	Коричневое КТ	3,68	2,55	IV	III	97,1	98,1	93,3	94,8
4	Синее тарное	3,72	2,69	IV	III	96,9	97,8	94,1	95,1

Как видно из табл. 5, после плазмохимического модифицирования химическая устойчивость огненно-полированной лицевой поверхности композиционных стеклокристаллических материалов возросла.

Выводы. Исследовано влияние плазмохимического модифицирования на повышение эстетических и эксплуатационных показателей защитно-декоративных покрытий.

Установлено, что под действием высоких температур плазменной струи происходит огненная полировка лицевой поверхности стеклокристаллического композиционного материала.

Показано, что огненно-полированная поверхность стеклокристаллических материалов обладает повышенными значениями коэффициента диффузионного отражения, водостойкости, кислотостойкости, щелочестойкости и термостойкости.

Источник финансирования. Грант Президента РФ № НШ-2724.2018.8.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Будов В.М., Саркисов П.Д. Производство строительного и технического стекла. 4-е изд., перераб. и доп. М.: Высшая школа, 1991. 319 с.
- Дорохова Е.С., Изотова И.А., Жерновой Ф.Е., Бессмертный В.С., Жерновая Н.Ф. Разработка и опытная апробация технологии облицовочного стеклокерамического композита // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2016. № 1. С. 138–143.
- Жерновая Н.Ф., Дороганов Е.А., Бессмертный В.С., Дорохова Е.С., Жерновой Ф.Е., Здоренко Н.М., Изотова И.А. Стеклокерамический композит с мультифункциональной колеманитовой добавкой // Перспективные материалы. 2016. № 5. С. 51–58.

4. Dorokhova E.S., Zhernovoi F.E., Izotova I.A., Bessmertnyi V.S., Zhernovaya N.F., Tarasova E.E. Shrink-free face material based on cullet and colemanite // *Glass and Ceramics*. 2016. Vol. 73. Issue 3. P. 103–106. DOI: 10.1007/s10717-016-9835-6.

5. Dorokhova E.S., Zhernovaya N.F., Bessmertnyi V.S., Zhernovoi F.E., Tarasova E.E. Control of the structure of porous glass-ceramic material // *Glass and Ceramics*. 2017. Vol. 74. Issue 3–4. P. 95–98. DOI: 10.1007/s10717-017-9936-x.

6. Бессмертный В.С., Бондаренко Н.И., Борисов И.Н., Бондаренко Д.О. Получение защитно-декоративных покрытий на стеновых строительных материалах методом плазменного оплавления. Белгород: Изд. БГТУ, 2014. 104 с.

7. Бессмертный В.С., Борисов И.Н., Ильина И.А., Бондаренко Н.И., Бондаренко Д.О. Плазмохимическая модификация строительных материалов // *Научно-технические технологии и инновации (XXI научные чтения): сб. трудов Междунар. науч.-практ. конф.* Белгород: БГТУ, 2014. С. 41–45.

8. Бессмертный В.С., Зубенко С.Н., Дюмина П.С., Здоренко Н.М., Волошко Н.И. Плазменно-оплавленные защитно-декоративные покрытия на бетоне на основе алюминатных цементов и боя цветных стекол // *Международный журнал экспериментального образования*. 2015. № 9. С. 104.

9. Пучка О.В., Бессмертный В.С., Сергеев С.В., Вайсера С.С. Плазмохимические методы получения покрытий на поверхности пеностекла // *Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова*. 2013. № 3. С. 147–150.

10. Бессмертный В.С., Минько Н.И., Бондаренко Н.И., Лесовик В.С., Яхья Мохаммед Яхья, Бондаренко Д.О., Табит Салим Аль-Азаб Исследование влияния плазменной обработки стеновых строительных материалов на потребительские свойства защитно-декоративных покрытий

// *Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова*. 2014. № 4. С. 59–62.

11. Бессмертный В.С., Здоренко Н.М., Симачёв А.В. Некоторые аспекты повышения качества строительной керамики путем подбора комплексных органоминеральных добавок // *Успехи современного естествознания*. 2013. № 5. С. 109.

12. Бессмертный В.С., Ильина И.А., Соколова О.Н. Получение защитно-декоративных покрытий на стеновых строительных материалах автоклавного твердения // *Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова*. 2012. № 3. С. 155–157.

13. Ильина И.А., Минько Н.И., Борисов И.Н., Бондаренко Д.О., Скрипченко П.В. Локальная термическая обработка стеновых строительных материалов автоклавного твердения // *Современные наукоемкие технологии*. 2014. № 3. С. 165.

14. Бессмертный В.С., Ильина И.А., Зубенко С.Н., Соколова О.Н., Здоренко Н.М., Волошко Н.И. Плазмохимическое модифицирование стеновых строительных материалов автоклавного твердения // *Международный журнал экспериментального образования*. 2015. № 9. С. 119.

15. Бессмертный В.С., Ляшко А.А., Панасенко В.А., Долуденко А.А., Антропова И.А., Ильина И.А. Плазменная обработка автоклавных материалов // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2011. № 12. С. 81–82.

16. Бондаренко Н.И., Бессмертный В.С., Борисов И.Н., Тимошенко Т.И., Буршина Н.А. Бетоны с защитно-декоративными покрытиями на основе алюминатных цементов, оплавленные плазменной струей // *Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова*. 2016. № 2. С. 181–185.

Информация об авторах

Изотова Ираида Алексеевна, аспирант кафедры технологии стекла и керамики.

E-mail: iraida.izotova.1993@mail.ru

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.
Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Бондаренко Надежда Ивановна, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии стекла и керамики.

E-mail: bondarenko-71@mail.ru

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.
Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Борисов Иван Николаевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологии цемента и композиционных материалов.

E-mail: xtsm@intbel.ru

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.
Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Клименко Василий Григорьевич, кандидат технических наук, доцент кафедры теоретической и прикладной химии.

E-mail: Klimenko3497@yandex.ru

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.

Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Слабинская Ирина Александровна, доктор экономических наук, профессор кафедры бухгалтерского учёта и аудита

E-mail: iaslabinskaya@mail.ru

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.

Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила в январе 2018 г.

© Изотова И.А., Бондаренко Н.И., Борисов И.Н., Клименко В.Г., Слабинская И.А., 2018

I.A. Izotova, N.I. Bondarenko, I.N. Borisov, V.G. Klimenko, I.A. Slabinskij
RESEARCH OF THE EFFECT OF PLASMA TREATMENT ON THE OPERATIONAL PROPERTIES OF COMPOSITE GLASS-CERAMIC MATERIALS

The article presents the research findings of the influence of plasma-chemical modification on aesthetic and performance properties of a composite glass-ceramic material. The optimum compositions of composite glass-crystalline materials based on broken colored glass containers, broken porcelain and liquid glass have been developed. It has been shown that the composite glass-crystalline material possessed the increased mechanical properties and relatively low esthetic properties. It has been determined that in the process of plasma treatment the front surface undergoes fire polishing with the formation of a high-quality coating. When exposed to a high-temperature jet, the surface of the glass-crystalline material is heated up to 2000 °C, resulting in the enrichment of the front surface with silicon and aluminum oxides and depletion of alkali and alkaline-earth oxides. It has been experimentally confirmed that after the plasma-chemical modification the diffuse reflectance coefficient, water resistance, acid resistance, alkali resistance and heat resistance of the face surface of the composite glass-crystalline material are increased.

Keywords: *plasma-chemical modification, composite glass-ceramic material, diffuse reflectance coefficient, water resistance, acid resistance, alkali resistance, heat resistance.*

REFERENCES

1. Budov V.M., Sarkisov P.D. Manufacture of building and technical glass. 4-e Izd. M.: Vysshaya shkola, 1991. 319 p.

2. Dorokhova E.S., Izotova I.A., Zhernovoi F.E., Bessmertnyi V.S., Zhernovaya N.F. Development and experimental approbation facing glass ceramic composite technology // Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2016, no. 1, pp. 138–143.

3. Zhernovaya N.F., Doroganov Ye.A., Bessmertnyi V.S., Dorokhova Ye.S., Zhernovoi F.Ye., Zdorenko N.M., Izotova I.A. Glassceramic composite with multifunctional colemanite additive // Promising materials, 2016, no. 5, pp. 51–58.

4. Dorokhova E.S., Zhernovoi F.E., Izotova I.A., Bessmertnyi V.S., Zhernovaya N.F., Tarasova E.E. Shrink-free face material based on cullet and colemanite // Glass and Ceramics, 2016, vol. 73, no. 3, pp. 103–106.

5. Dorokhova E.S., Zhernovaya N.F., Bessmertnyi V.S., Zhernovoi F.E., Tarasova E.E. Control of the structure of porous glass-ceramic material // Glass and Ceramics, 2017, vol. 74, no. 3–4, pp. 95–98.

6. Bessmertnyi V.S., Bondarenko N.I., Borisov

I.N., Bondarenko D.O. Obtaining protective-decorative coatings on wall building materials using the method of plasma reflow. Belgorod: BGUTU, 2014. 104 p.

7. Bessmertnyi V.S., Borisov I.N., Ilyina I.A., Bondarenko N.I., Bondarenko D.O. Plasmochemical modification of building materials. Proc. of the Intern. scientific and practical conference «High technology and innovation» (XXI scientific readings). Belgorod: BGUTU, 2014, pp. 41–45.

8. Bessmertnyi V.S., Zubenko S.N., Dyumina P.S., Zdorenko N.M., Voloshko N.I. Plasma-melted protective and decorative coatings on concrete based on aluminates cements and battles of colored glass // International journal of experimental education, 2015, no. 9, pp. 104.

9. Puchka O.V., Bessmertnyi V.S., Sergeev S.V., Vaysera S.S. Plasmachemical method receipt payment on surface foamglass // Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2013, no. 3, pp. 147–150.

10. Bessmertnyi V.S., Minko N.I., Bondarenko N.I., Lesovik V.S., Yahya Mohammed Yaha, Bondarenko D.O., Tabitha Salim Al-Azab Research of influence of plasma processing of wall construction materials on consumer properties of protective and decorative coverings // Bulletin of BSTU named

after V.G. Shukhov, 2014, no. 4, pp. 59–62.

11. Bessmertnyi V.S., Zdorenko N.M., Simachev A.V. Some aspects of improving the quality of building ceramics by selecting complex organomineral additives // *Advances in current natural sciences*, 2013, no. 5, pp. 109.

12. Bessmertnyi V.S., Ilyina I.A., Sokolova O.N. Reception of protectively-decorative coverings on wall building materials of the autoclave concreting // *Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov*, 2012, no. 3, pp. 155–157.

13. Ilyina I.A., Minko N.I., Borisov I.N., Bondarenko D.O., Skripchenko P.V. Local heat treatment of wall building materials of autoclave hardening // *Modern high technologies*, 2014, no. 3, pp. 165.

14. Bessmertnyi V.S., Ilyina I.A., Zubenko S.N., Sokolova O.N., Zdorenko N.M., Voloshko N.I. Plasmochemical modification of walled building materials of autoclave hardening // *International journal of experimental education*, 2015, no. 9, pp. 119.

15. Bessmertnyi V.S., Lyashko A.A., Panasenko V.A., Doludenko A.A., Antropova I.A., Ilyina I.A. Plasma processing of autoclave materials // *International journal of applied and fundamental research*, 2015, no. 9, pp. 119.

16. Bondarenko N.I., Bessmertnyi V.S., Borisov I.N., Tymoshenko T.I., Burshina N.A. The concrete with protective and decorative coverings on the basis of aluminatny cements which are melted off by the plasma stream // *Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov*, 2016, no. 2, pp. 181–185.

Information about the author

Iraida A. Izotova, Postgraduate student.

E-mail: iraida.izotova.1993@mail.ru

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov.
Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Nadezda I. Bondarenko, PhD, Assistant professor.

E-mail: bondarenko-71@mail.ru

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov.
Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Ivan N. Borisov, PhD, Professor.

E-mail: xtsm@intbel.ru

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov.
Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Vasiliy G. Klimenko, PhD, Assistant professor.

E-mail: Klimenko3497@yandex.ru

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov.
Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Irina A. Slabinskaya, PhD, Professor.

E-mail: iaslabinskaya@mail.ru

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov.
Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received in January 2018

¹Котлярова И.А., канд. техн. наук, доц.,²Степина И.В., канд. техн. наук, доц.¹Брянский государственный технический университет²Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет

КИНЕТИКА НАБУХАНИЯ ДРЕВЕСИНЫ СОСНЫ, МОДИФИЦИРОВАННОЙ АМИНБОРАТАМИ

iakotlyarova@list.ru

Древесина набухает при контакте с капиллярно-жидкостной водой. Этот процесс приводит к преждевременному разрушению древесного материала вследствие снижения его прочностных характеристик. Уменьшить набухание древесины можно различными способами: глубокой пропиткой гидрофобными реагентами, покрытием поверхности лакокрасочными материалами. Однако, при этом маскируется текстура древесины и утрачиваются ее уникальные свойства. При модифицировании древесины аминборатами упорядочивается надмолекулярная структура целлюлозы, уменьшается удельная поверхность древесины, снижается ее сорбционная емкость по отношению к воде. В связи с этим, нами было исследовано влияние боразотных модификаторов различной концентрации на набухание древесины сосны. Способность модифицированной древесины к набуханию оценивали весовым методом. В качестве контроля использовали образцы немодифицированной древесины. На основании полученных экспериментальных данных строили дифференциальные кривые набухания и определяли константы скорости набухания графическим методом. В результате исследования установлено: модифицирование древесины аминборатами приводит к снижению равновесной степени набухания, константа скорости набухания зависит от природы, концентрации модификатора и его влияния на микроструктуру древесного композита.

Ключевые слова: древесина, модифицирование, аминбораты, кинетика набухания, константа скорости.

Введение. Древесина представляет собой природный волокнистый композиционный материал, аморфную матрицу которого (лигнин) армируют одномерные наполнители – макромолекулы целлюлозы и гемицеллюлоз [1]. Лигнин, целлюлоза и гемицеллюлозы – это высокомолекулярные соединения (далее – полимеры). В клеточных стенках древесных пород умеренной климатической зоны они составляют 97...99 % массы древесины и определяют комплекс ее свойств, в частности, способность к набуханию. Набухание – это одностороннее поглощение полимерами низкомолекулярных жидкостей, которое сопровождается увеличением их объема и массы [1].

В процессе эксплуатации древесина набухает при контакте с капиллярно-жидкостной водой. Этот процесс является нежелательным, так как приводит к увеличению влажности древесины, созданию благоприятных условий для биodeградации, снижению прочностных характеристик, изменению размеров и формы готовой продукции, появлению трещин при последующем высыхании [2, 3].

Существенно уменьшить набухание древесины можно, покрыв ее поверхность лакокрасочными материалами или посредством глубокой пропитки гидрофобизаторами. Однако, при этом маскируется текстура древесины и нивелируются

уникальные ее свойства – способность поглощать из воздуха вредные примеси, поддерживать оптимальный показатель влажности, насыщать воздух природными антисептиками – смолами и эфирными маслами.

Учитывая, что при модифицировании древесины аминборатами упорядочивается надмолекулярная структура целлюлозы, уменьшается удельная поверхность древесины и снижается ее сорбционная емкость по отношению к воде, мы предположили, что модифицирование древесины водными растворами моноэтанолмин(N→B)-тригидроксидбората и диэтанол-амин(N→B)-тригидроксидбората приведет к снижению равновесной степени набухания, что наряду с высокими антисептическими свойствами аминборатов обеспечит долговечность деревянным конструкциям и сооружениям [4–8].

Методология. В качестве объектов исследования использовали образцы древесины сосны в форме прямоугольной призмы с основанием 20×20 мм и высотой вдоль волокон 10 мм. В качестве модификаторов – 10, 30, 50 %-ные водные растворы аминборатов: модификатор 1 – моноэтанолмин(N→B)тригидроксидборат, модификатор 2 – диэтанолмин(N→B)тригидроксидборат.

Растворы модификаторов наносили на поверхность древесины кистью. Модифицированные образцы высушивали при комнатной темпе-

ратуре до постоянной массы. Затем образцы погружали в воду и оценивали степень их набухания весовым методом.

Степень набухания α определяли по формуле

$$\alpha = (m - m_0)/m_0 \quad (1)$$

где m_0 – масса исходного образца; m – масса образца, набухшего до равновесного состояния.

Кинетика процесса набухания во времени выражается кинетическими кривыми, построенными в координатах $\alpha = f(\tau)$. Плато на полученных кривых соответствует равновесной степени набухания, т.е. ее максимальному значению.

Процесс набухания древесины определяется скоростью диффузии молекул воды, т.е. скорость набухания может быть описана следующим уравнением

$$d\alpha/dt = k(\alpha_{\max} - \alpha_t) \quad (2)$$

где $\alpha_{\max}$ – равновесная степень набухания, α_t – степень набухания в момент времени t .

Интегрируя последнее уравнение получаем

$$k = (1/t)2,3\lg(\alpha_{\max}/(\alpha_{\max} - \alpha)) \quad (3)$$

Построив график зависимости $2,3\lg(\alpha_{\max}/(\alpha_{\max} - \alpha))$ от t , получим прямую, тангенс угла которой к оси абсцисс равен константе скорости набухания k древесины в воде.

Основная часть. При набухании в воде образцов модифицированной и немодифицированной древесины сосны были получены следующие экспериментальные данные, табл. 1, 2, рис. 1, 3–5.

Кинетика процесса набухания исследуемых образцов в воде выражается кинетическими кривыми, рис. 1, из которых видно, что процесс набухания постепенно замедляется и выходит на плато при максимальном (равновесном) значении степени набухания. Равновесная степень набухания для образца немодифицированной древесины – 1,31 (131 %), для образца древесина + моноэтаноламин(N→В)тригидроксидборат – 0,89 (89 %), для образца древесина + диэтаноламин(N→В)тригидроксидборат – 0,68 (68 %).

Из литературы известно, что равновесная степень набухания зависит от способности древесины сорбировать и удерживать определенное количество воды. Как известно, в древесине существуют два типа центров сорбции с разными энергиями связи. Первичные центры сорбции – гидрофильные группы целлюлозы, гемицеллюлоз и лигнина [9, 10].

Вторичные центры сорбции – центры сорбции первого и последующего слоев воды. Активное поглощение воды осуществляется первичными центрами сорбции, при этом молекулы воды оказываются непосредственно связанными с –ОН группами аморфных областей макромолекулярных компонентов древесины. Данный процесс – экзотермический. Он приводит к существенному снижению общей энергии системы «вода – древесина» за счет выделения теплоты сорбции.

Таблица 1

Экспериментальные данные и рассчитанные величины для образцов модифицированной и немодифицированной древесины сосны

Время набухания, t (сут.)	Немодифицированная древесина			Древесина + 50 % раствор модификатора 1			Древесина + 50 % раствор модификатора 2		
	Масса образца, m (г)	α	$2,3\lg(\alpha_{\max}/(\alpha_{\max} - \alpha))$	Масса образца, m (г)	α	$2,3\lg(\alpha_{\max}/(\alpha_{\max} - \alpha))$	Масса образца, m (г)	α	$2,3\lg(\alpha_{\max}/(\alpha_{\max} - \alpha))$
0	2,11	0	-	2,43	0	-	2,25	0	-
1	3,19	0,51	0,49	3,12	0,28	0,38	2,86	0,27	0,92
3	3,56	0,69	0,75	3,23	0,33	0,46	3,03	0,35	0,66
6	4,00	0,89	1,13	3,46	0,42	0,64	3,14	0,39	0,55
9	4,16	0,97	1,35	3,65	0,50	0,82	3,30	0,47	0,37
13	4,28	1,03	1,54	3,87	0,59	1,09	3,43	0,52	0,27
20	4,49	1,13	1,98	4,28	0,76	1,92	3,49	0,55	0,21
30	4,87	1,31	-	4,59	0,89	-	3,79	0,68	-
40	4,87	1,31	-	4,59	0,89	-	3,79	0,68	-

Формирование и удержание второго и последующего адсорбционных слоев происходит за счет диполь-дипольного взаимодействия между молекулами воды. Эти процессы связаны с выделением обычной теплоты разбавления, что наряду с возрастающей ролью энтропийного

фактора ограничивает скорость сорбционных процессов и лимитирует количество поглощенной воды [11–14].

Следовательно, чем больше доступных первичных центров сорбции, тем больше способность древесины к набуханию.

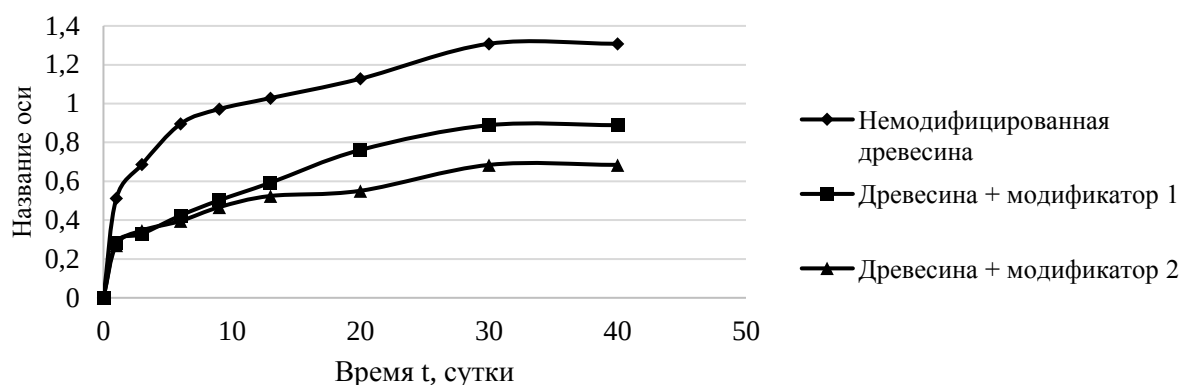


Рис. 1. Кинетические кривые набухания немодифицированной и модифицированной древесины (концентрация модификаторов – 50 %)

Методами рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии, ИК-спектроскопии и рентгеноструктурного анализа доказано, что моноэтаноламин($N \rightarrow V$)тригидроксидиборат и диэтаноламин($N \rightarrow V$)тригидроксидиборат химически взаимодействуют с реакционноспособными группами компонентов древесины, в том числе с гидроксильными группами $-OH$. При этом сокращается число стерически доступных первичных центров сорбции для воды, и равновесная степень набухания древесины должна уменьшаться. Это согласуется с полученными экспериментальными данными.

Более низкие значения равновесной степени набухания у модифицированной древесины связаны с увеличением степени кристалличности целлюлозы в результате модифицирования древесины, а также с формированием более жесткой пространственной сетки армирующих компонентов древесины за счет взаимодействия молекул модификаторов с гидроксильными группами у атомов углерода C^6 и C^2 глюкопиранозного кольца соседних цепей целлюлозы. Сделанные предположения подтверждаются экспериментальными данными, полученными ранее методом рентгеноструктурного анализа (степень кристалличности у немодифицированной целлюлозы – 43,65 %, у целлюлозы, модифицированной моноэтаноламин($N \rightarrow V$)тригидроксидиборатом – 50,11 %, у целлюлозы, модифицированной диэтаноламин($N \rightarrow V$)тригидроксидиборатом – 51,12 %).

Константы скорости набухания образцов немодифицированной древесины и модифицированной древесины определяли графическим путем по тангенсу угла наклона прямой, построенной в координатах $2,3 \lg(\alpha_{\max}/(\alpha_{\max} - \alpha)) = f(\tau)$, рис. 2. Константы скорости набухания в системах «немодифицированная древесина – вода» – «древесина + моноэтаноламин($N \rightarrow V$)тригидроксидиборат – вода», «древесина + диэтанола-

мин($N \rightarrow V$)тригидроксидиборат – вода» соответственно равны 0,075; 0,061 и 0,079, соответственно.

Полученные значения констант скорости набухания указывают на отсутствии прямой корреляции между скоростью набухания и предельной степенью насыщения. Константа скорости набухания древесины, модифицированной диэтаноламин($N \rightarrow V$)тригидроксидиборатом выше, чем константа скорости набухания немодифицированной древесины. Вероятно, это связано с проявлением сил капиллярной конденсации. Уменьшение удельной поверхности модифицированной древесины приводит к увеличению отрицательного капиллярного давления, и, как следствие, увеличивает скорость поглощения воды модифицированной древесиной, рис. 3.

Константа скорости набухания древесины, модифицированной моноэтаноламин($N \rightarrow V$)тригидроксидиборатом ниже константы скорости набухания немодифицированной древесины. Мы предполагаем, причина этого – более высокая плотность прививки модификатора и его способность реагировать с соседними макромолекулами целлюлозы, что увеличивает упорядоченность структуры и создает дополнительные стерические барьеры для проникновения молекул воды в объем древесного композита.

Для оптимизации концентрации используемых модификаторов определили равновесные степени набухания для образцов древесины, модифицированных 10 %- и 30 %-ными растворами моно- и диэтаноламин($N \rightarrow V$)тригидроксидиборатов.

Из полученных экспериментальных данных, табл. 2 и рис. 4, 5 видно, что:

- с уменьшением концентрации модификаторов способность модифицированной древесины к набуханию увеличивается;
- равновесная степень набухания у всех образцов модифицированной древесины ниже контроля;

- для образцов древесины, модифицированной моноэтаноламин(N→В)тригидроксидом значения равновесной степени набухания ниже,

чем для образцов древесины, модифицированной диэтаноламин(N→В)тригидроксидом.

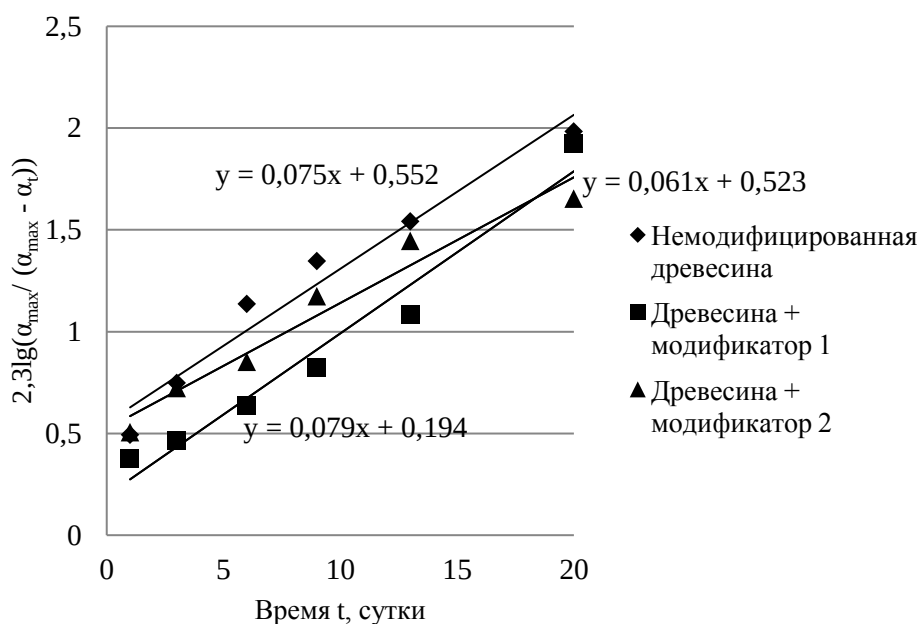


Рис. 2. Графический способ определения константы скорости набухания образцов древесины в воде

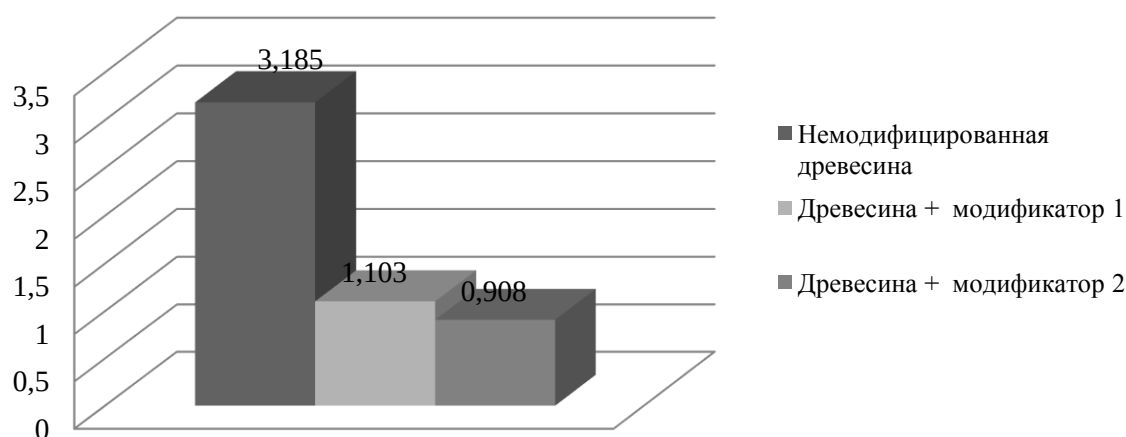


Рис. 3. Удельная поверхность, м²/г немодифицированной и модифицированной древесины сосны

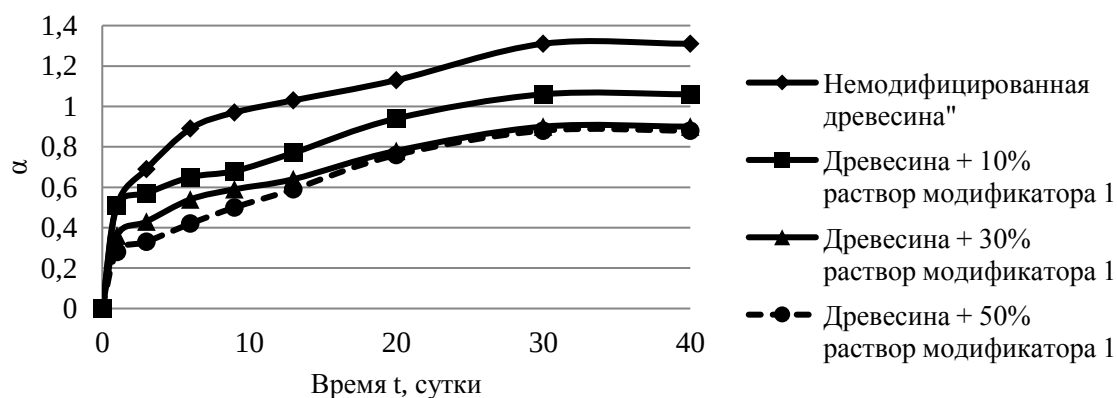


Рис.4. Кинетические кривые набухания (древесина + растворы модификатора 1)

Эти наблюдения могут быть связаны с более низкой реакционной способностью молекул диэтаноламин($N \rightarrow V$)тригидроксидората в реакции модифицирования древесины.

С уменьшением концентрации моноэтаноламин($N \rightarrow V$)тригидроксидората константа

скорости набухания модифицированной древесины увеличивается. Вероятно, это связано с меньшей плотностью прививки моноэтаноламин($N \rightarrow V$)тригидроксидората и, соответственно, с меньшим влиянием модификатора на кристаллическую структуру углеводов древесного композита, рис. 6.

Таблица 2

Экспериментальные данные и рассчитанные величины для образцов древесины, модифицированной 10 % и 30 % растворами модификаторов

Время набухания, t (сут.)	α	$2,3lg(\alpha_{max} / (\alpha_{max} - \alpha))$	Время набухания, t (сут.)	α	$2,3lg(\alpha_{max} / (\alpha_{max} - \alpha))$
Древесина + модификатор 1					
10 % раствор модификатора			30 % раствор модификатора		
0	0	-	0	-	-
1	0,51	0,66	1	0,36	0,51
3	0,57	0,77	3	0,43	0,65
6	0,65	0,95	6	0,54	0,92
9	0,68	1,02	9	0,59	1,06
13	0,77	1,29	13	0,64	1,24
20	0,94	2,18	20	0,78	2,01
30	1,06	-	30	0,9	-
40	1,06	-	40	0,9	-
Древесина + модификатор 2					
10 % раствор модификатора			30 % раствор модификатора		
0	-	-	0	0	-
1	0,45	0,47	1	0,33	0,35
3	0,53	0,59	3	0,42	0,47
6	0,78	1,06	6	0,64	0,55
Древесина + диэтаноламин($N \rightarrow V$)тригидроксидорат					
10 % раствор модификатора			30 % раствор модификатора		
9	0,83	1,19	9	0,72	1,04
13	0,99	1,78	13	0,83	1,38
20	1,07	2,29	20	0,95	1,94
30	1,19	-	30	1,11	-
40	1,19	-	40	1,11	-

Для образцов древесины, модифицированной диэтаноламин($N \rightarrow V$)тригидроксидоратом, с увеличением концентрации модификатора константа скорости набухания также уменьшается. Однако при всех значениях концентрации модификатора константа скорости набухания немодифицированной древесины ниже, чем у модифицированных образцов. Возможно, это связано с

особенностями строения молекул диэтаноламин($N \rightarrow V$)тригидроксидората. Привитие объемных молекул модификатора к первичным центрам сорбции древесины, создает благоприятные условия для формирования второго и последующего адсорбционных слоев воды, рис. 7.

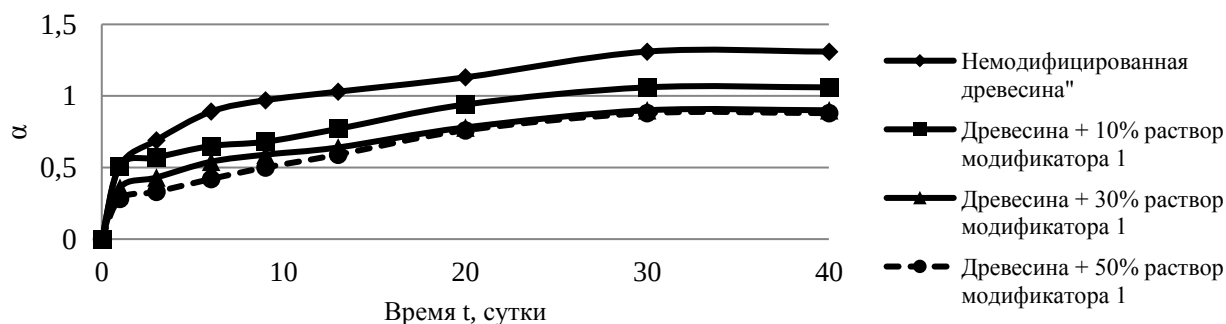


Рис. 5. Кинетические кривые набухания (древесина + растворы модификатора 2)

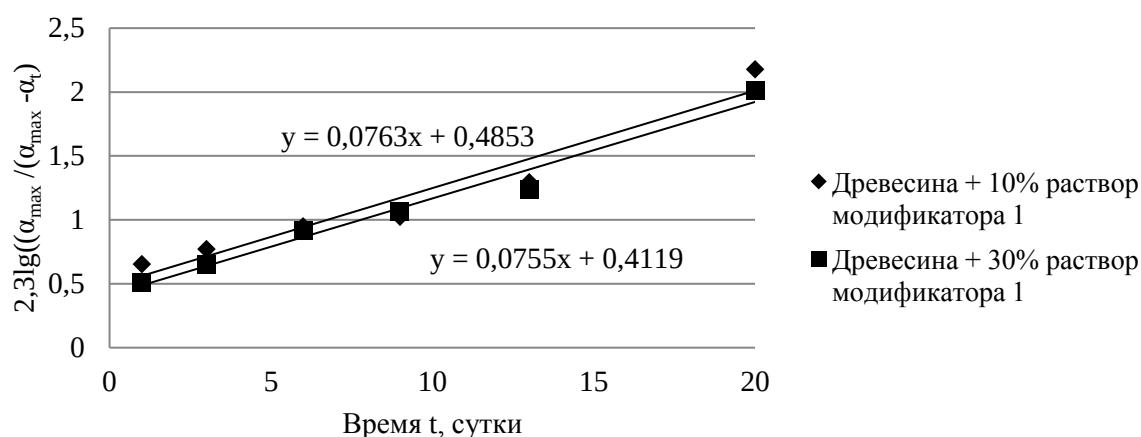


Рис. 6. Определение констант скорости набухания модифицированной древесины в воде графическим способом (модификатор – моноэтанол-амин(N→В)тригидроксидборат)

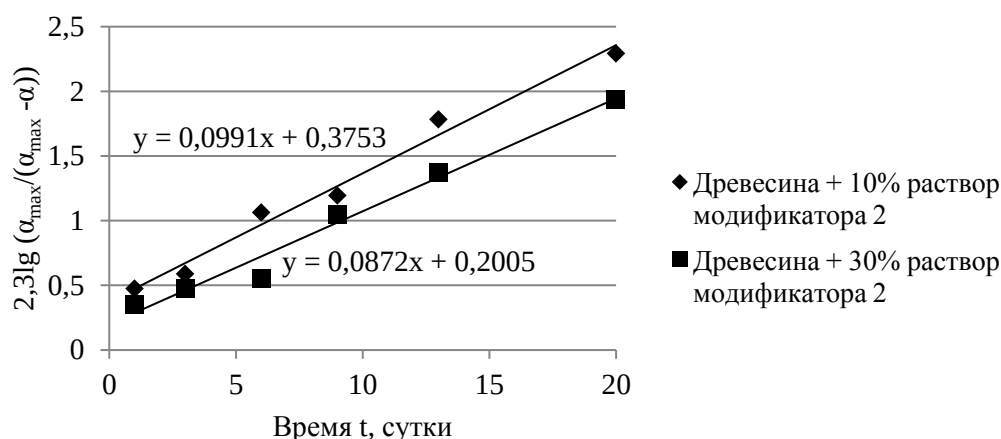


Рис. 7. Определение констант скорости набухания модифицированной древесины в воде графическим способом (модификатор – диэтанол-амин(N→В)тригидроксидборат)

Выводы. Полученные результаты позволяют сделать следующие выводы. Способность древесины к набуханию определяется полимерным строением ее основных компонентов. Модифицирование древесины водными растворами моно- и диэтанол-амин(N→В)тригидроксидборатов приводит к снижению равновесной степени набухания. Наиболее эффективными являются 50 % растворы модификаторов. Константы скорости набухания зависят от природы и концентрации модификаторов. Наблюдается общая тенденция «с увеличением концентрации модификаторов – константы скорости набухания модифицированной древесины уменьшаются». Константы скорости набухания древесины, модифицированной моноэтанол-амин(N→В)тригидроксидборатом, ниже или находятся на уровне значения константы скорости набухания немодифицированной древесины. Вероятна причина – существенное влияние модификатора на надмолекулярную структуру целлюлозы. Константы скорости набухания древесины, модифицированной диэтанол-амин(N→В)тригидроксидборатом, выше

значения константы скорости набухания немодифицированной древесины. Вероятна причина – отсутствие стерических затруднений при «диполь-дипольном» взаимодействии молекул воды с вторичными центрами сорбции древесины.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Фенгель Д. Древесина (химия, ультраструктура, реакции): Пер. с англ. Фенгель Д., Беренер Г. М.: Лесная пром-сть, 1988.
2. Englund E.T., Thygesen L.G., Svensson S, Hill CAS A critical discussion of the physics of wood-water interactions // Wood Sci Technol. 2013. Vol. 4. Pp. 141–161.
3. Mantanis G.I., Young R.A., Rowell R.M. Swelling of wood. Part 1. Swelling in water // Wood Sci Technol. 1994. Vol. 28. Pp. 119–134.
4. Bigelow J.J., Clausen C.C., Lebow S.T. Field evaluation of timber preservation treatments for highway applications. Final Rep. Iowa Highway Research Board (IHRB Project TR-552). Ames, IA: Iowa State University, Center for Transportation Research and Education, 2007. 79 p.

5. Lebow S., Anthony Ronald W. Guide for use of wood preservatives in historic structures. General Technical Report FPL-GTR-217. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. 2012. P.59.
6. Lebow S., Lebow P., Halverson S. 2010. Penetration of boron from topically applied borate solutions // Forest Products Journal. 2010. Vol. 60(1). Pp. 13–22.
7. Roszyk E.; Mania P., Moliński W. The influence of microfibril angle on creep of Scotch pine wood under tensile stress along the grains. Wood Res-Slovakia. 2012. Vol. 57. Pp. 347–358.
8. Schultz T.P., Nicholas D.D., Preston A.F. Wood protection trends in North America // ACS Symposium Series. 2014. Vol. 1158. Pp. 351–361.
9. Врублевская В.И., Матусевич В.О., Кузнецова В.В. Обоснование механизма взаимодействия компонентов древесины с влагой // Лесной журнал. 2017. № 3. С. 152–163.
10. Колосовская Е.А. Лоскутов С.Р., Чудинов Б.С. Физические основы взаимодействия древесины с водой. Новосибирск: Наука. Сиб.отд-ние, 1989.
11. Glass S.V., Boardman C.R., Zelinka S.L. Short hold times in dynamic vapor sorption measurements mischaracterize the equilibrium moisture content of wood // Wood Sci. Technol. 2017. Vol. 51. Pp. 243–260.
12. Höhne P., Tauer K. Studies on swelling of wood with water and ionic liquids // Wood Sci. Technol. 2016. Vol. 50. Pp. 245–258.
13. Roszyk E., Kwiatkowski T., Moliński W. Mechanical parameters of pine wood in individual annual rings under tensile stress along the grains in dry and wet state // Wood Res-Slovakia. 2013. Vol. 58. Pp. 571–580.
14. Saifouni O., Destrebecq J.-F., Froidevaux J., Navi P. Experimental study of the mechanosorptive behaviour of softwood in relaxation // Wood Sci. Technol. 2016. Vol. 50. Pp. 789–805.

Информация об авторах

Котлярова Ирина Александровна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Машиностроение и материаловедение».

E-mail: iakotlyarova@list.ru

Брянский государственный технический университет.
Россия, 241035, г. Брянск, бул. 50 лет Октября, 7

Степина Ирина Васильевна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Строительные материалы и материаловедение».

E-mail: StepinaIV@mgsu.ru

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет.
Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26.

Поступила в январе 2018 г.

© Котлярова И.А., Степина И.В., 2018

I.A. Kotlyarova, I.V. Stepina

RESEARCH OF THE SWELLING KINETICS OF PINE WOOD, MODIFIED WITH AMINO-BORATES

Wood swells at the contact with capillary and liquid water. This process leads to premature destruction of wood material due to the decrease in its strength characteristics. It is possible to reduce wood swelling in various ways: deep impregnation by hydrophobic reagents, covering the surface with paints and varnishes etc. However, in this case the texture of wood is masked and its unique properties are lost. When modifying wood with amino-borates the supramolecular structure of cellulose is ordered, the specific surface of wood decreases, and its water sorption capacity is reduced. In this regard, we have researched the influence of boron-nitrogenous modifiers of various concentrations on pine wood swelling. The swelling ability of the modified wood was estimated by weight method. As a control sample the samples of unmodified wood were used. On the basis of the obtained experimental data the differential curves of swelling were built and the velocity constants of swelling were determined by a graphic method. As a result of the research it has been established that modifying wood with amino-borates leads to the decrease of equilibrium extent of swelling, and the velocity constant of swelling depends on the nature and concentration of the modifier and its influence on the microstructure of a wood composite.

Keywords: wood, modification, amino-borates, kinetics of swelling, velocity constant.

REFERENCES

1. Fengel 'D. Wood (chemistry, ultrastructure, reactions): Per. English. Fengel D., Wegener G.M.: Lesnaya prom St', 1988.
2. Englund ET, Thygesen LG, Svensson S, Hill CAS Acritical discussion of the physics of wood-water interactions // Wood Sci Technol, 2013, vol. 4, pp. 141–161.
3. Mantanis G.I., Young R.A., Rowell R.M. Swelling of wood. Part 1. Swelling in water // Wood Sci Technol, 1994, vol. 28, pp. 119–134.
4. Bigelow J.J., Clausen C.C., Lebow S.T. Field evaluation of timber preservation treatments for highway applications. Final Rep. Iowa Highway Research Board (IHRB Project TR-552). Ames, IA: Iowa State University, Center for Transportation Research and Education, 2007, 79 p.
5. Lebow S., Anthony Ronald W. Guide for use of wood preservatives in historic structures. General Technical Report FPL-GTR-217. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. 2012, pp. 59.
6. Lebow S., Lebow P., Halverson S. 2010. Penetration of boron from topically applied borate solutions // Forest Products Journal, 2010, vol. 60(1), pp. 13–22.
7. Roszyk E., Mania P., Moliński W. The influence of microfibril angle on creep of Scotch pine wood under tensile stress along the grains // Wood Res-Slovakia, 2012, vol. 57, pp. 347–358.
8. Schultz T.P., Nicholas D.D., Preston A.F. Wood protection trends in North America // ACS Symposium Series, 2014, vol. 1158, pp. 351–361.
9. Vrublevskaya V.I., Matusevich V.O., Kuznetsova V.V. Substantiation of mechanism of action of wood components with moisture // Forest journal, 2017, № 3, pp. 152–163.
10. Kolosovskaya E.A., Loskutov S.R., Chudinov B.S. Physical bases of interaction of wood with water. Novosibirsk: Science. Nib.otd-nie, 1989. Glass S.V., Boardman C.R., Zelinka S.L. Short hold times in dynamic vapor sorption measurements mischaracterize the equilibrium moisture content of wood // Wood Sci. Technol, 2017, vol. 51, pp. 243–260.
11. Glass S.V., Boardman C.R., Zelinka S.L. Short hold times in dynamic vapor sorption measurements mischaracterize the equilibrium moisture content of wood // Wood Sci. Technol, 2017, vol. 51, pp. 243–260.
12. Höhne P., Tauer K. Studies on swelling of wood with water and ionic liquids // Wood Sci. Technol, 2016, vol. 50, pp 245–258.
13. Roszyk E., Kwiatkowski T., Moliński W. Mechanical parameters of pine wood in individual annual rings under tensile stress along the grains in dry and wet state // Wood Res-Slovakia, 2013, vol. 58, pp. 571–580.
14. Saifouni O., Destrebecq J.-F., Froidevaux J., Navi P. Experimental study of the mechanosorptive behaviour of softwood in re-laxation. // Wood Sci. Technol, 2016, vol. 50, pp. 789–805.

Information about the author

Irina A. Kotlyarova, PhD, Assistant professor.

E-mail: iakotlyarova@list.ru

Bryansk State Technological University.

Russia, 241035, Bryansk, bul 50 October, 7.

Irina V. Stepina, Postgraduate student.

E-mail: olga.koalchenko@mail.ru.

National Research Moscow State University of Civil Engineering

Russia, 129337, Moscow, Yaroslavl highway, 26

Received in January 2018

МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

DOI: 10.12737/article_5abfc9c46d1462.45506145

Ворочаева Л.Ю., канд. техн. наук, доц.,
Савин С.И., канд. техн. наук, доц.
Юго-Западный государственный университет

КЛАССИФИКАЦИОННЫЕ ПРИЗНАКИ РОБОТОВ, ПЕРЕМЕЩАЮЩИХСЯ ПО ТРУБАМ

mila180888@yandex.ru

Роботы, перемещающиеся по трубам, разрабатываются для решения различных задач, связанных с обследованием или ремонтом трубопроводов. К ним можно отнести построение карты трубопровода, проверку трубопровода на наличие повреждений и отложений, поиск дефектов, выявление ремонтпригодности трубопровода, сбор информации о свойствах трубы и динамике изменения этих свойств. Перечисленные задачи имеют существенную практическую значимость, и экономически целесообразно решать их с использованием роботов. Для определения круга задач, решаемых тем или иным роботом, необходимо установить его место в многообразии существующих конструкций, выявить особенности его перемещения и навигации по трубопроводу. Наиболее удобным средством для этого является использование классификаций роботов по различным критериям. В статье проведен обзор классификаций внутритрубных роботов, установлены классификационные признаки, введенные ими. Основным существенным недостатком всех рассмотренных классификаций является невозможность однозначного определения в них места каждого робота, их недостаточная детализация. Поэтому в работе предложена новая классификация роботов, предназначенных для перемещения по трубам, в основу которой положены восемь критериев: 1) поверхность трубы, по которой перемещается робот, 2) управляемость конструкции (активность или пассивность), 3) тип контакта с поверхностью трубы, 4) возможности движения "с распором" и управления нормальными реакциями в опорах, 5) возможность управления силой трения в опорах, 6) вид опорного элемента, 7) типы привода и 8) трансмиссии. Путем сочетания указанных классификационных признаков можно выявить особенности каждой конструкции робота, что позволит установить круг задач, которые может решать данный робот.

Ключевые слова: внутритрубные роботы, классификационные признаки, тип контакта, управление трением, тип контактного элемента, тип привода и трансмиссии.

Введение. Роботы для перемещения по трубам представлены большим числом разнообразных конструкций, отличающихся по целому ряду признаков, поэтому для определения принадлежности роботов к той или иной конструктивной группе необходимо ввести их классификации. Рассмотрим классификации роботов для перемещения по трубопроводам, описанные в публикациях по данной тематике.

В работе [1] предлагается подразделять роботов, предназначенных для перемещения в трубах, на семь классов по типу перемещения: колесные, червеподобные, шагающие, ввинчивающиеся, ползающие, движущиеся вместе с потоком жидкости (устройства типа PIG) и пассивные роботы. В работах [2–4] приведена классификация внутритрубных роботов, также разделяющая их на семь классов, но отличная от ранее рассмотренной. Здесь выделяются следующие внутритрубные роботы: устройства типа PIG, колесные, гусеничные, шагающие, червеподобные,

ввинчивающиеся роботы, а также устройства, упирающиеся в стенки трубы. В качестве примера использования данной классификации в статьях произведено разделение на предложенные категории более сорока существующих конструкций роботов для перемещения по трубам. Также в этих работах предлагается классифицировать роботов, способных преодолевать Т-образные сочленения, на две группы: роботов, совершающих управляемое изменение формы своего тела для того, чтобы изменить направление своего движения (так называемые «steering type robots»), и роботов, достигающих изменения направления скорости корпуса за счет изменения скорости вращения части своих колес (предложено называть подобные устройства «differential type robots»). В [5] предложено выделять колесных роботов как основной класс устройств для перемещения по трубопроводам и подразделять их на два подтипа: колесные роботы прямолинейного перемещения, описанные в работах [3, 4, 6–

9], и колесные роботы, совершающие винтовое движение [10]. В публикации [11] предложены три способа классификации внутритрубных роботов: по типу двигателя, принципу движения и типу системы управления, а в работе [12] предлагается подразделять роботов на категории по шести основным признакам: типу используемых контактных элементов, характеру взаимодействия с поверхностью трубы, числу звеньев, принципу движения, расположению и типу приводов.

Проанализировав описанные в работах классификации роботов, перемещающихся по трубам, можно отметить, что каждая из них имеет недостатки, связанные с недостаточной детализа-

цией. Так, например, многозвенные колесные роботы, использующие змееподобный принцип перемещения, не могут быть однозначно отнесены ни к одной из категорий. Также некоторые устройства, имеющие принципиально отличный друг от друга способ действия, могут оказаться в одной категории. Поэтому в данной работе предложено классифицировать таких роботов по целому ряду признаков таким образом, чтобы можно было однозначно определить место каждой конструкции в этой классификации.

Классификационные признаки многозвенных роботов, перемещающихся по трубам. Выделим основные классификационные признаки таких роботов и представим их в виде рис. 1.

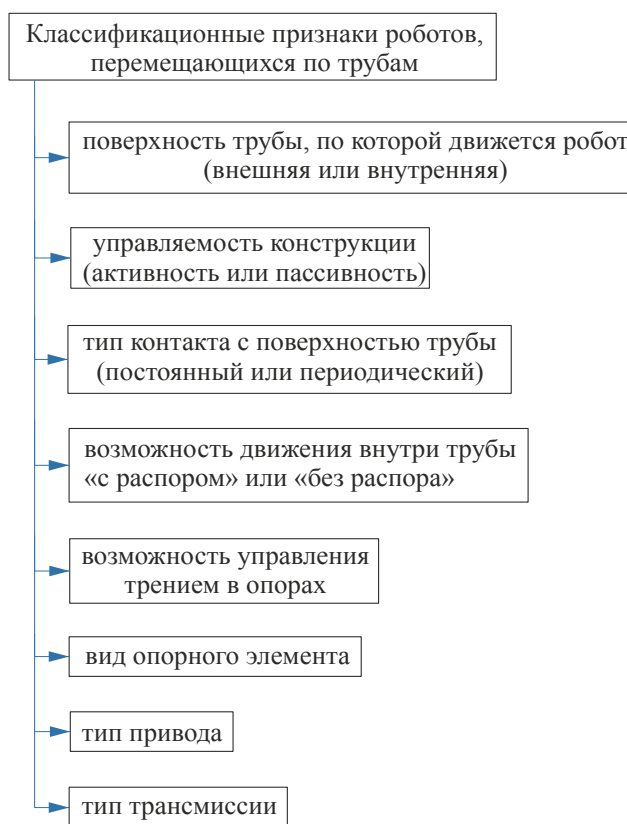


Рис. 1. Классификационные признаки роботов для перемещения по трубам

В качестве пассивных конструкций роботов рассматриваются устройства, не имеющие движителей и переносимые по трубе вместе с потоком жидкости или газа, остальные конструкции роботов считаются активными. Под движением «с распором» понимаем случай, когда робот прикладывает силы к стенкам трубы таким образом, чтобы повысить величины нормальных реакций, действующих на робота со стороны стенок трубы. На схемах будем обозначать движение с распором пометкой «ср», а движение без распора – «бр». Под управлением трением в опорах понимаем наличие у робота механизма, позволяющего изменять величину коэффициента сухого

трения или величину нормальной реакции, приложенной к опоре робота со стороны внутренней поверхности трубы.

Рассмотрим классификации роботов для перемещения по трубам по выделенным классификационным признакам.

Общая классификация роботов, перемещающихся по трубам. На рис. 2 приведена обобщенная классификация, в соответствии с которой роботы разделяются на перемещающихся внутри труб (внутритрубные) и по их внешней поверхности (так называемые «внетрубные» роботы, схема которых приведена на рис. 3, а).

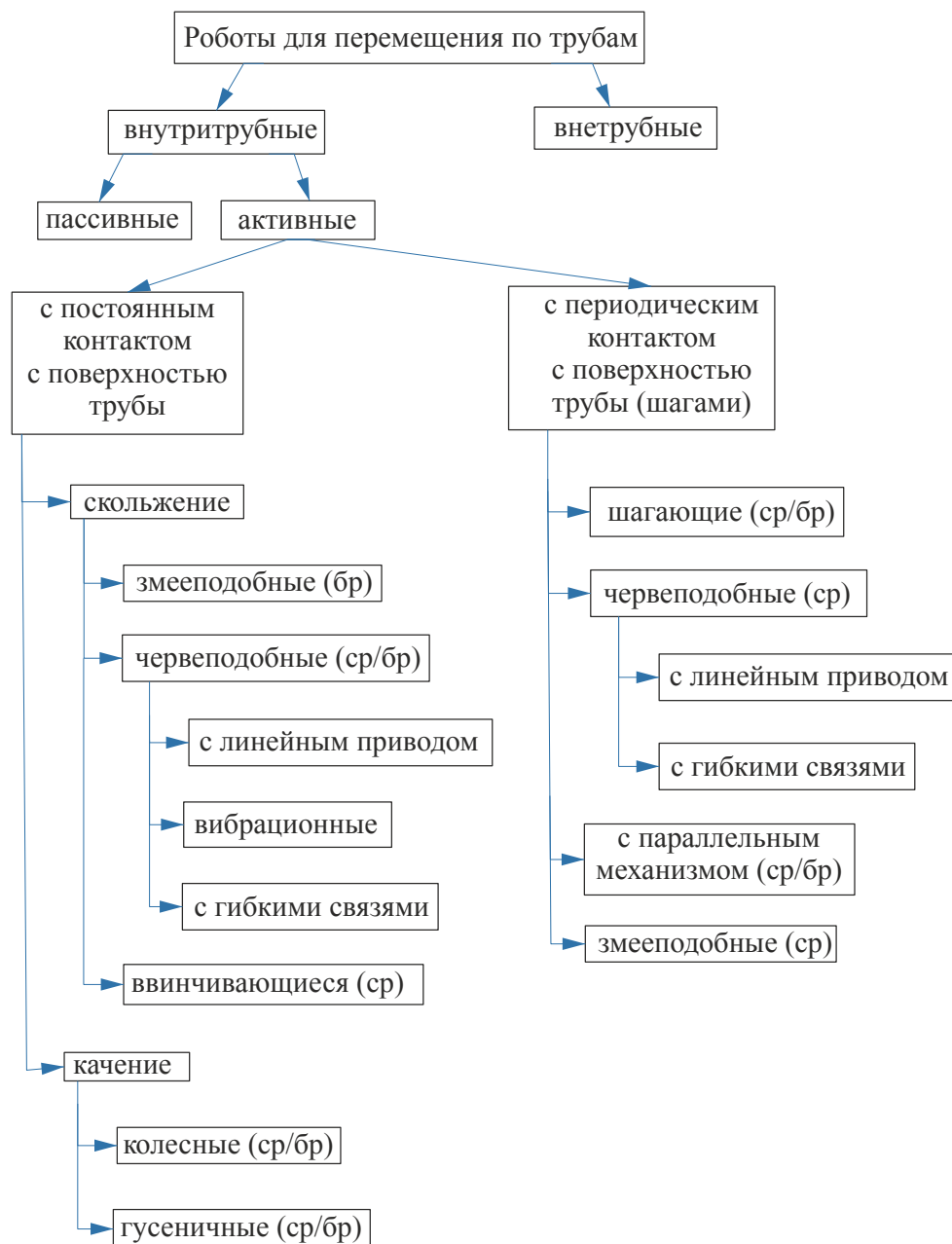


Рис. 2. Обобщенная классификация роботов для перемещения по трубам

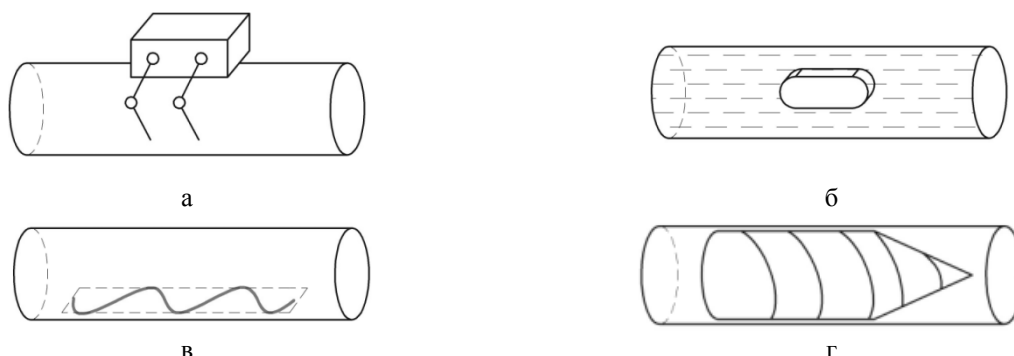


Рис. 3. Схемы роботов для перемещения по трубам: а – внутритрубный, б – внутритрубный пассивный, в – змееподобный (бр), г – ввинчивающийся (ср)

В дальнейшем остановимся только на первом классе роботов – внутритрубных. Эти роботы могут представлять собой пассивные капсулы, переносимые по трубопроводам потоком

жидкости или газа (рис. 3, б). В англоязычной литературе такие устройства называют PIG (от англ. pipeline inspection gauge) [13–15]. Такие роботы не имеют активных движителей, не могут

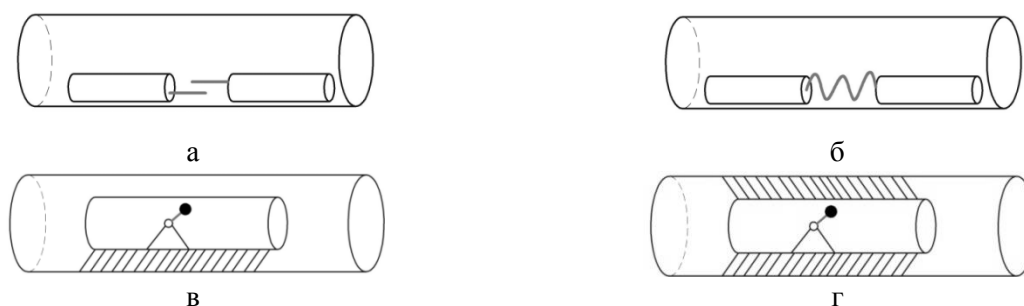
управлять своим движением, что можно отнести к их недостаткам. Несмотря на это, такие конструкции активно применяются на практике. Существуют варианты исполнения таких роботов с закрепленными на них инструментами, называемые «instrumented pipeline inspection gauge» (IPIG) [16–18].

Более перспективными представляются активные внутритрубные роботы, которые по способу контакта с поверхностью трубы разделяются на роботов с постоянным контактом и с периодическим контактом. Первые из них передвигаются по поверхности трубы при помощи скольжения или качения опорных элементов или корпуса без отрыва от трубы, вторые периодически отрывают часть опорных элементов от поверхности трубы для их переноса вперед, т.е. перемещаются шагами.

К роботам, движущимся по трубам за счет скольжения, относятся змее- и червеподобные, а также ввинчивающиеся конструкции [19]. Змееподобные роботы могут двигаться, совершая серию синусоидальных волн вдоль направления

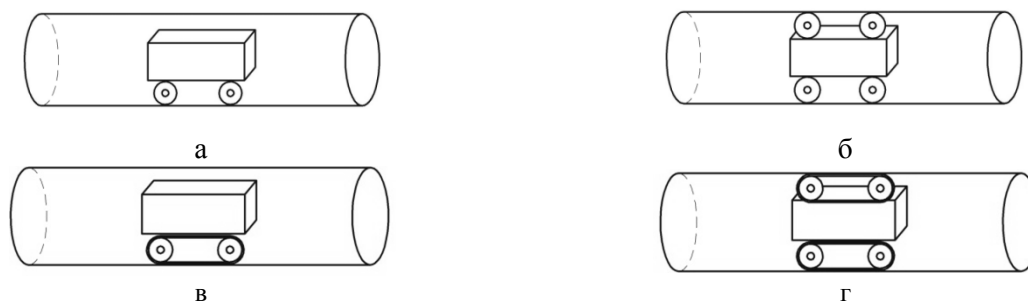
движения параллельно поверхности, что позволяет им перемещать свой центр масс поступательно. Существуют и другие способы перемещения таких роботов. Змееподобные роботы располагаются в трубе без распора (рис. 3, в) [20, 21]. Ввинчивающиеся конструкции перемещаются аналогично закручивающемуся винту, при движении они располагаются в трубе с распором (рис. 3, г).

Червеподобные роботы перемещаются за счет циклического сжатия и растяжения отдельных звеньев конструкции вдоль направления движения, причем звенья могут располагаться в трубе как с распором (рис. 4, г), так и без распора (рис. 4, а-в). В качестве приводов червеподобных роботов, скользящих по поверхности трубы, могут использоваться линейные (рис. 4, а), вибрационные (рис. 4, в, г), а также роботы с гибкими связями (рис. 4, б). Примеры внутритрубных червеподобных роботов можно найти в публикации [22].



Внутритрубные роботы с постоянным контактом с поверхностью трубы, обеспечивающимся силами трения качения, перемещаются

при помощи колес или гусениц (рис. 5). Причем и те, и другие могут быть расположены в трубе как с распором, так и без распора [23–27].



Роботов, перемещающихся при помощи шагов, можно подразделить на шагающих, червеподобных, змееподобных и роботов с параллельным механизмом [28–32]. При этом шагающие

роботы и роботы с параллельным механизмом могут перемещаться, располагаясь в трубе как с распором, так и без распора (рис. 6).

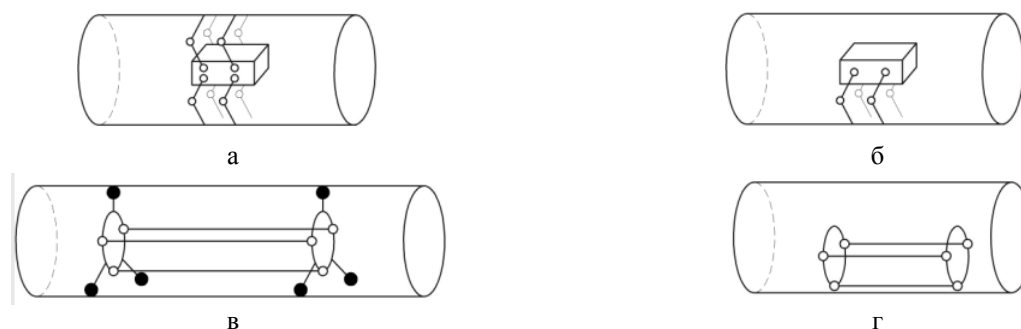


Рис. 6. Схемы роботов, перемещающихся при помощи шагов: а – шагающие (ср), б – шагающие (бр), в – с параллельным механизмом (ср), г – с параллельным механизмом (бр)

Шагающие внутритрубные роботы до недавнего времени довольно редко рассматривались в научной литературе. Наиболее известным примером является TUMmachine [28, 33, 34]. В работе [35] представлен способ управления такими механизмами, учитывающий особенности односторонних механических связей, наложенных на систему в точках контакта с внутренней поверхностью трубы. В работах [36–39] предложены методы генерации последовательностей шагов на внутренней поверхности трубы с учетом необходимости обхода препятствий, а также методы решения обратной задачи кинематики. Возможные

походки таких роботов описаны в публикации [30].

А черве- и змееподобные роботы, движущиеся шагами, всегда располагаются в трубе только с распором (рис. 7). Также отметим, что в червеподобных роботах данного типа в качестве приводов могут использоваться линейные приводы и приводы с гибкими связями, но не вибрационные, как в червеподобных роботах с постоянным контактом опорных элементов с поверхностью трубы.



Рис. 7. Схемы роботов, перемещающихся при помощи шагов: а – червеподобные (ср), б – змееподобные (ср)

Классификация внутритрубных роботов по управлению нормальными реакциями и силой трения. На рис. 8 приведена классификация внутритрубных роботов в зависимости от возможности управления трением между опорными элементами устройства и поверхностью трубы. Под управлением трением будем подразумевать управляемое изменение предельного значения силы трения покоя, приложенной к контактному элементу робота.

Управление трением может быть осуществлено двумя различными способами: за счет управления коэффициентом трения и за счет управления нормальной реакцией. Управление трением позволяет внутритрубным роботам перемещаться при помощи шагов за счет периодической фиксации части опорных элементов и переноса корпуса робота и оставшихся опорных элементов вперед вдоль трубы. Рассмотрим более детально каждый из этих способов.

Управление нормальной реакцией может происходить без деформации поверхности трубы при помощи использования прижимных элемен-

тов, таких как пружины, присоски, электромагниты или за счет примагничивания опоры к поверхности трубы (рис. 9, а). Другой вариант управления нормальной реакцией заключается в деформации поверхности трубы за счет внедрения в нее опорного элемента, например, в форме иглы (рис. 9, б).

Второй вариант управления трением в опорах – управление коэффициентом трения – может быть, как активным, так и пассивным. Активное управление коэффициентом трения возможно за счет использования управляемых опорных элементов, обеспечивающих смену опорных поверхностей, имеющих разный коэффициент трения (рис. 10).

При контакте с трубой опорной поверхностью с малым коэффициентом трения она скользит по поверхности трубы, а в случае контакта опорной поверхностью с большим коэффициентом трения она фиксируется на поверхности трубы. Смена опорных поверхностей обеспечивается специальным приводом устройства.

Пассивное управление коэффициентом трения обеспечивается анизотропией коэффициента

трения в зависимости от направления движения опорного элемента: при движении вперед по

трубе коэффициент трения малый, а при движении назад – большой (рис. 11).

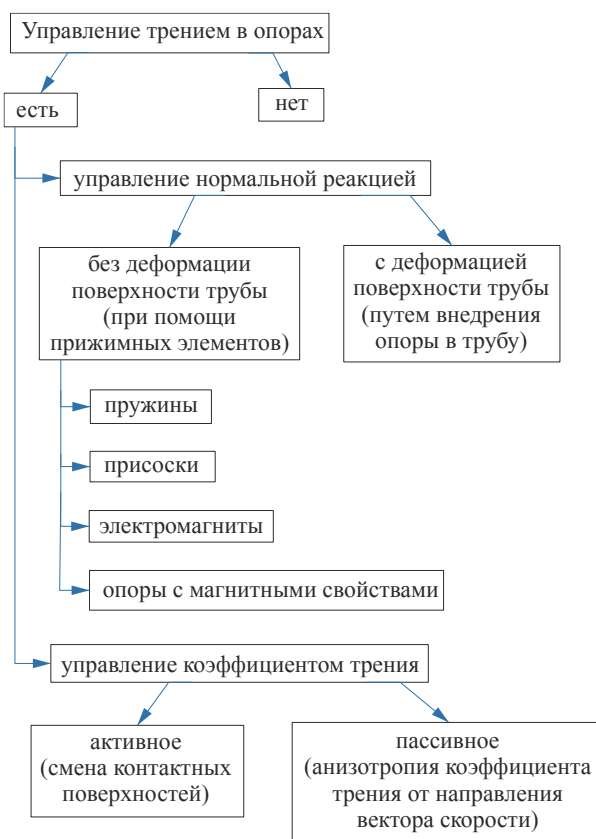


Рис. 8. Классификация внутритрубных роботов по возможности управления трением в опорных элементах

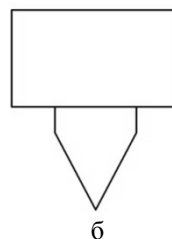
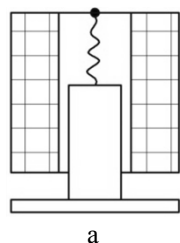


Рис. 9. Опоры внутритрубных роботов с управлением нормальной реакцией: а – за счет прижимного элемента, б – за счет деформации внутренней стенки трубы

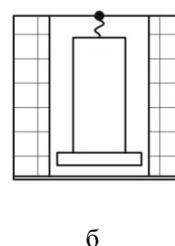
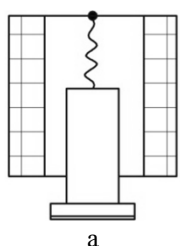


Рис. 10. Опоры с активным управлением коэффициентом трения за счет смены опорных поверхностей: а – опора с малым коэффициентом трения, б – опора с большим коэффициентом трения

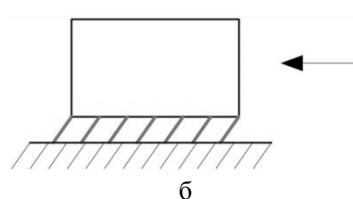
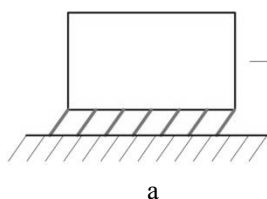


Рис. 11. Опоры с пассивным управлением коэффициентом трения за счет анизотропии трения: а – малый коэффициент трения, б – большой коэффициент трения, —→←— – направление вектора скорости

Классификация внутритрубных роботов по виду опорных элементов. На рис. 12 представлена классификация внутритрубных роботов

по виду опорных элементов, которыми осуществляется контакт с поверхностью трубы.

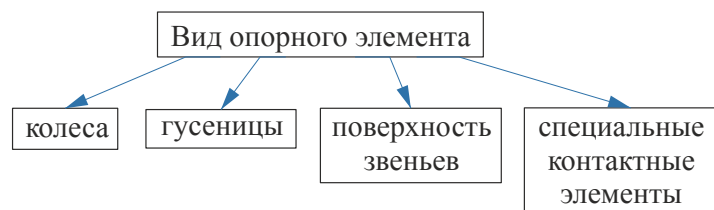


Рис. 12. Классификация внутритрубных роботов по виду опорного элемента

По этому признаку можно выделить четыре вида опор. Наиболее распространенными являются два типа опор: колеса (рис. 5, а,б) и гусеницы (рис. 5, в, г), которые используются в роботах, движущихся при помощи качения по поверхности трубы.

Змееподобные роботы могут контактировать с трубой непосредственно поверхностью звеньев, которые выступают в качестве опорных элементов (рис. 3, в), а вибрационные и червеподобные роботы – поверхностью корпуса (третий тип опор, показанный на рис. 4, а,б).

Четвертый тип опор – это так называемые специальные опоры. К ним можно отнести контактные поверхности ног шагающих роботов

(рис. 6, а, б), опоры с управляемым трением (рис. 9, рис. 10), специальные контактные поверхности звеньев змее- и червеподобных роботов (рис. 7) и т.д.

Классификация внутритрубных роботов по типу привода. Следующим классификационным признаком внутритрубных роботов является тип привода (рис. 13).

Здесь можно выделить роботов, оснащенных электроприводами, пневмоприводами, электромагнитными и пьезоэлектрическими приводами (рис. 14).

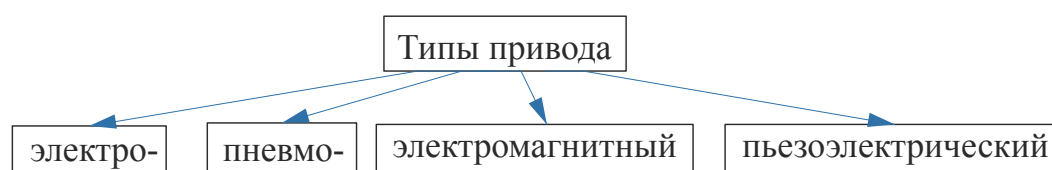


Рис. 13. Классификация внутритрубных роботов по типу привода

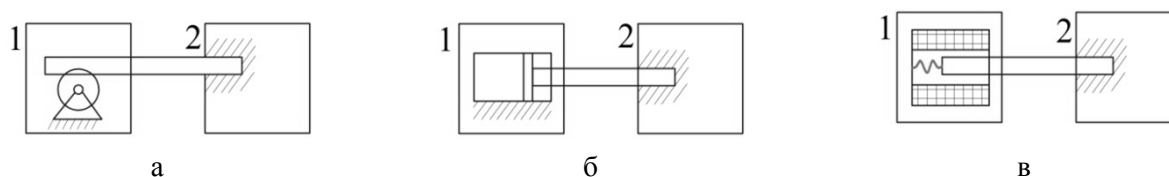


Рис. 14. Типы приводов внутритрубных роботов:

а – электропривод, б – пневмопривод, в – электромагнитный привод, 1 – первое звено, 2 – второе звено

Классификация внутритрубных роботов по типу трансмиссии. Последний из рассматриваемых в работе классификационных признаков – тип трансмиссии внутритрубных роботов, которая может быть жесткой и гибкой (рис. 15).

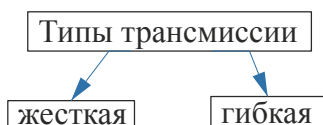


Рис. 15. Классификация внутритрубных роботов по типу трансмиссии

Гибкая трансмиссия используется в роботах, состоящих из нескольких секций, связанных

между собой тросами или нитями, например, в схеме робота, показанного на рис.4, б. Примеры такого рода роботов можно найти в работах [40–42].

Жесткая трансмиссия используется в остальных типах внутритрубных роботов, например, на схемах рис. 4, а, рис. 7, а.

Выводы. В статье представлена общая информация о роботах, перемещающихся по трубам. Предложена детальная классификация таких роботов по восьми различным признакам: поверхность трубы, по которой перемещается робот, управляемость конструкции, тип контакта с поверхностью трубы, движение "с распором" или

нет, возможность управления трением в опорах, вид опорного элемента, типы привода и трансмиссии. Эта классификация позволяет рассмотреть всевозможные конструктивные варианты механизмов передвижения роботов, опорных элементов, а также непосредственно способы перемещения по поверхности трубы, что, в свою очередь, приводит к возможности однозначного определения места каждой конструкции в многообразии трубных роботов, выявлению их особенностей, а значит, установлению круга задач, решаемых тем или иным устройством. Это найдет практическое применение при необходимости обследования и ремонта трубопроводов.

В качестве примеров практического применения предложенной в работе классификации можно рассмотреть следующие. При необходимости визуального обследования длинных прямых горизонтальных трубопроводов целесообразно выбирать колесных и гусеничных роботов в связи с возможностью их быстрого перемещения по сравнению с роботами других типов (движение, реализующее качение, быстрее чем движение со скольжением, а движение с постоянным контактом с опорной поверхностью быстрее движения с периодическим контактом), а также в связи с тем, что они являются активными, скоростью их перемещения можно управлять. Но такие роботы хорошо себя зарекомендуют в пустых трубах без отложений. В противном случае рационально использовать роботов с периодическим контактом с поверхностью трубы, что позволит им обходить загрязнения, отложения и преодолевать существенные по размерам препятствия в трубах. Это могут быть шагающие системы, роботы с параллельными механизмами, а также определенные типы змееподобных и червеподобных роботов. Причем для горизонтальных труб подходят конструкции, которые размещаются как в распор трубы, так и не в распор. В зависимости от выбранного способа перемещения по приведенным в работе классификациям осуществляется выбор трансмиссии, типа привода, вида опорного элемента, а также необходимость управления трением в этом элементе.

Для случая обследования внутритрубными роботами вертикальных труб необходимо выбирать конструкции, которые обязательно располагаются в распор трубы. Обследование изогнутых труб со сложной геометрией и неровными стенками за счет отложений и загрязнений требует использования роботов с периодическим контактом с поверхностью трубы, перемещение при помощи качения или скольжения в данном случае нецелесообразно.

Источник финансирования. Грант Президента Российской Федерации МК-2577.2017.8, договор №14.Z56.17.2577-МК.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Young-Sik K., Lee B., Whang I.-C., Kim W.-K., Yi B.-J. A flat pipeline inspection robot with two wheel chains // Robotics and Automation (ICRA): IEEE International Conference, Shanghai, China. 2011. Pp. 5141–5146.
2. Schempf H., Mutschler E., Goltsberg V., Skoptsov G., Gavaert A., Vradis G. Explorer: Untethered real-time gas main assessment robot system // In Proc. of Int. Workshop on Advances in Service Robotics, ASER. 2003. Vol. 3. Pp. 1–4.
3. Roh S., Choi H.R. Differential-drive in-pipe robot for moving inside urban gas pipelines // IEEE Transactions on robotics. 2005. Vol. 21. № 1. Pp. 1–7.
4. Roh S. Navigation inside pipelines with differential-drive inpipe robot // Robotics and Automation (ICRA): IEEE International Conference, Washington, USA. 2002. Vol. 3. Pp. 2575–2580.
5. Peng L., Ma S., Li B., Wang Y. Design of a mobile mechanism possessing driving ability and detecting function for in-pipe inspection // Robotics and Automation (ICRA): IEEE International Conference, Pasadena, California, USA. 2008, Pp. 3992–3997.
6. Choi H.R., Roh S. In-pipe robot with active steering capability for moving inside of pipelines // Bioinspiration and Robotics Walking and Climbing Robots. 2007. Pp. 376–402.
7. Roh S.G., Ryew S.M., Yang J.H., Choi H.R. Actively Steerable Inpipe Inspection Robots for Underground Urban Gas Pipelines // Robotics and Automation (ICRA): IEEE International Conference, Taipei, Taiwan. 2001. Pp. 761–766.
8. Ryew S.M., Baik S.H., Ryu S.W., Jung K.M., Roh S.G., Choi H.R. Inpipe Inspection Robot System with Active Steering Mechanism // Intelligent Robot and Systems (IROS): IEEE Int. Conf. 2000. Pp. 1652–1657.
9. Tătar O., Mandru D., Ardelean I. Development of mobile minirobots for in pipe inspection tasks // Mechanika. 2007. Vol. 6. № 68. Pp. 60–64.
10. Mihaita H., Doroftei I., Mignon E., Preumont A. A simple architecture for in-pipe inspection robots // Autonomous Systems: Proc. Int. Colloq. Mobile. 2002. Pp. 61–64.
11. Мальчиков А.В. Динамика управляемого движения шестизвездного мобильного внутритрубного робота: дис. ... канд. техн. наук. Курск. 2013. 178 с.
12. Савин С.И. Динамика двухсекционного аппарата с тросовым приводом для перемещения

по трубопроводным системам: дис. ... канд. техн. наук. Курск. 2014. 199 с.

13. U.S. Patent Application, Pipeline inspection gauge extractor /Laymon M.S. 2012. 13/538,760.

14. Mirats Tur J.M., Garthwaite W. Robotic devices for water main in-pipe inspection // A survey. J. of Field Robotics. 2010. Vol. 27. № 4. Pp. 491–508.

15. Nguyen T.T., Kim D.K., Rho Y.W., Kim S.B. Dynamic modeling and its analysis for PIG flow through curved section in natural gas pipeline // Computational Intelligence in Robotics and Automation: IEEE International Symposium, Banff, Alberta, Canada. 2001. Pp. 492–497.

16. Keshwani R., Bhattacharya S. Design and optimization of eddy current sensor for instrumented pipeline inspection gauge // Sensor Review. 2008. Vol. 28. № 4. Pp. 321–325.

17. Pre-commissioning Pig (pipeline inspection gauge) [Электронный ресурс]. <https://www.nordstream.com/press-info/images/pre-commissioning-pig-pipeline-inspection-gauge-2718/>.

18. Pigs in the pipes [Электронный ресурс]. <https://www.theengineer.co.uk/issues/november-2013-online/pigs-in-the-pipes/>.

19. Wright C., Johnson A., Peck A., McCord Z., Naaktgeboren A., Gianfortoni P., Gonzalez-Rivero M., Hatton R., Choset H. Design of a modular snake robot // Intelligent Robots and Systems (IROS): IEEE/RSJ International Conference, San Diego, USA. 2007. Pp. 2609–614.

20. Baba T., Kameyama Y., Kamegawa T., Gofuku, A. A snake robot propelling inside of a pipe with helical rolling motion // SICE Annual Conference: IEEE, Taipei, Taiwan. 2010. Pp. 2319–2325.

21. Melo K., Paez, L. Modular snake robot gaits on horizontal pipes // Intelligent Robots and Systems (IROS): IEEE/RSJ International Conference, Vilamoura, Portugal. 2012. Pp. 3099–3104.

22. Bertetto A.M., Ruggiu M. In-pipe inchworm pneumatic flexible robot // Advanced Intelligent Mechatronics: IEEE/ASME International Conference, Como, Italy. 2001. Vol. 2. Pp. 1226–1231.

23. Roh S.G., Choi H.R. Differential-drive in-pipe robot for moving inside urban gas pipelines // IEEE transactions on robotics. 2005. Vol. 21. № 1. Pp. 1–17.

24. Horodincu M., Doroftei I., Mignon E., Preumont A. A simple architecture for in-pipe inspection robots // International Colloquium on Autonomous and Mobile Systems, Germany. 2001. Pp. 61–64.

25. Jun C., Deng Z., Jiang S. Study of locomotion control characteristics for six wheels driven in-pipe robot // Robotics and Biomimetics (ROBIO): IEEE International Conference, USA. 2004. Pp. 119–124.

26. Choi H.R., Roh S.G. In-pipe robot with active steering capability for moving inside of pipelines // Bioinspiration and Robotics Walking and Climbing Robots. 2007. Pp. 375–402.

27. Roh S.G., Ryew S., Yang J.H., Choi H.R. Actively steerable in-pipe inspection robots for underground urban gas pipelines // Robotics and Automation (ICRA): IEEE International Conference, Seoul, Korea. 2001. Vol. 1. Pp. 761–766.

28. Gálvez J.A., De Santos P.G., Pfeiffer F. Intrinsic tactile sensing for the optimization of force distribution in a pipe crawling robot // IEEE/ASME Transactions on mechatronics. 2001. Vol. 6. №1. Pp. 26–35.

29. Silva M.F., Tenreiro Machado J.A. A historical perspective of legged robots // Vibration and Control. 2007. Vol. 13. № 9-10. Pp. 1447–1486.

30. Савин С.И., Ворочаева Л.Ю., Ворочаев А.В. Классификация режимов движения четырехногого плоского внутритрубного робота // Cloudofscience. 2017. Т. 4. №. 2. С. 224–248.

31. Казарян К.Г., Савин С.И. Варианты конструкции робота для перемещения по полостям // Молодежь и XXI Век, Курск, 2012. С. 199.

32. Казарян К.Г., Савин С.И. Робот с параллельной структурой для исследования трубопроводных систем // Молодежь и XXI Век, Курск. 2012. С. 203.

33. Zagler A., Pfeiffer F. "MORITZ" a pipe crawler for tube junctions // Robotics and Automation (ICRA): IEEE International Conference, Taipei, Taiwan. 2003. Vol. 3. P. 2954–2959.

34. Pfeiffer F., Eltze J., Weidemann H.J. The TUM-walking machine // Intelligent Automation & Soft Computing. 1995. Vol. 1. №. 3. Pp. 307–323.

35. Savin S., Vorochaeva L. Nested quadratic programming-based controller for pipeline robots // Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM): International Conference, Saint-Petersburg, Russia, 2017. P. 1–6.

36. Савин С.И., Ворочаева Л.Ю., Ворочаев А.В. Моделирование движения четырехногого шагающего робота в трубопроводах с изменяющимся диаметром и изгибами // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. 2017. № 1 (321). С. 39–46.

37. Savin S., Vorochaeva L. Footstep planning for a six-legged in-pipe robot moving in spatially curved pipes // Control and Communications (SIBCON): IEEE International Siberian Conference, Astana, Kazakhstan. 2017. Pp. 1–6.

38. Savin S., Vorochaeva L. Pace pattern generation for an pipeline robot // Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM): International Conference, Saint-Petersburg, Russia. 2017. Pp. 1–6.

39. Савин С.И., Ворочаева Л.Ю., Ворочаев А.В. Алгоритм генерации походок для робота, осуществляющего движение в трубопроводах // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. 2017. Т. 7. № 1 (22). С. 90–97.

40. Савин С.И., Яцун С.Ф., Рублёв С.Б. Экспериментальные исследования управляемого движения робота с внешними актуаторами для мониторинга трубопроводов малого диаметра // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2012. Т. 14. № 4-5. С. 1277–1279.

Информация об авторах

Ворочаева Людмила Юрьевна, кандидат технических наук, доцент кафедры механики, мехатроники и робототехники.

E-mail: mila180888@yandex.ru.

Юго-Западный государственный университет,
Россия, 305040, Курск, ул. 50 лет Октября, д. 94.

Савин Сергей Игоревич, кандидат технических наук, доцент кафедры механики, мехатроники и робототехники.

E-mail: sergey89mkgtu@mail.ru.

Юго-Западный государственный университет,
Россия, 305040, Курск, ул. 50 лет Октября, д. 94.

Поступила в февраль 2018 г.

© Ворочаева Л.Ю., Савин С.И., 2018

L.Yu. Vorochaeva, S.I. Savin

CRITERIA FOR CLASSIFICATION OF IN-PIPE ROBOTS

In-pipe robots are developed for solving a diverse set of tasks, all of which have to do with monitoring and repairs of pipelines. These tasks include generation of maps of pipelines, detecting defects, anomalies and matter deposits on the inner surface of the pipe, studying the inner surface of the pipe in order to determine if it needs to be repaired and if it is possible to repair it, gathering information on the properties of the inner surface of the pipe and studying the change of these properties. These tasks have practical significance and their automation with robots is economically beneficial. Considering the variety of the existing in-pipe robot designs, it is important to have a way to categorize them and have a clear understanding which tasks are suitable for particular in-pipe robots. To this end, the detailed classifications of in-pipe robots can be used. This paper presents a survey of classifications of in-pipe robots. The previously proposed criteria for such classifications are discussed. The ambiguity of the commonly used classifications is highlighted. The paper presents a more detailed classification, based on eight criteria: 1) types of pipe surfaces that a robot can interact with, 2) controllability of a robot (distinguishing fully passive and active robots), 3) type of contact interaction with the inner surface of the pipe, 4) controllability of normal reactions and 5) controllability of friction forces in contact points or surfaces, 6) contact element types, 7) motor type, 8) transmission type. Combination of these criteria allows highlighting particular features of the existing in-pipe robot designs, simplifying the analysis of problem range that the robot can solve.

Keywords: *in-pipe robots, classification criteria, contact interaction type, controllable friction, contact element type, motor type, transmission type.*

REFERENCES

1. Young-Sik K., Lee B., Whang I.-C., Kim W.-K., Yi B.-J. A flat pipeline inspection robot with two wheel chains // Robotics and Automation (ICRA): IEEE International Conference, Shanghai, China, 2011, pp. 5141–5146.

41. Jatsun S., Yatsun A., Savin S. Pipe inspection parallel-link robot with flexible structure // Adaptive Mobile Robotics: 15th International Conference on Climbing and Walking Robots and the Support Technologies for Mobile Machines, CLAWAR, Baltimore, USA. 2012. P. 713–719.

42. Яцун С.Ф., Савин С.И. Экспериментальные исследования вертикального перемещения робота для мониторинга трубопроводных систем // Известия Юго-Западного государственного университета. 2012. №5 (44). Ч.2. С. 199–202.

2. Schempf H., Mutschler E., Goltsberg V., Skoptsov G., Gavaert A., Vradis G. Explorer: Untethered real-time gas main assessment robot system // In Proc. of Int. Workshop on Advances in Service Robotics, ASER, 2003, vol. 3, pp. 1–4.

3. Roh S., Choi H.R. Differential-drive in-pipe robot for moving inside urban gas pipelines // IEEE

Transactions on robotics, 2005, vol. 21, no. 1, pp. 1–7.

4. Roh S. Navigation inside pipelines with differential-drive inpipe robot // Robotics and Automation (ICRA): IEEE International Conference, Washington, USA, 2002, vol. 3, pp. 2575–2580.

5. Peng L., Ma S., Li B., Wang Y. Design of a mobile mechanism possessing driving ability and detecting function for in-pipe inspection // Robotics and Automation (ICRA): IEEE International Conference, Pasadena, California, USA, 2008, pp. 3992–3997.

6. Choi H.R., Roh S. In-pipe robot with active steering capability for moving inside of pipelines // Bioinspiration and Robotics Walking and Climbing Robots, 2007, pp. 376–402.

7. Roh S.G., Ryew S.M., Yang J.H., Choi H.R. Actively Steerable Inpipe Inspection Robots for Underground Urban Gas Pipelines // Robotics and Automation (ICRA): IEEE International Conference, Taipei, Taiwan, 2001, pp. 761–766.

8. Ryew S.M., Baik S.H., Ryu S.W., Jung K.M., Roh S.G., Choi H.R. Inpipe Inspection Robot System with Active Steering Mechanism // Intelligent Robot and Systems (IROS): IEEE Int. Conf., 2000, pp. 1652–1657.

9. Tătar O., Mandru D., Ardelean I. Development of mobile minirobots for in pipe inspection tasks // Mechanika, 2007, vol. 6, no. 68, pp. 60–64.

10. Mihaita H., Doroftei I., Mignon E., Preumont A. A simple architecture for in-pipe inspection robots // Autonomous Systems: Proc. Int. Colloq. Mobile, 2002, pp. 61–64.

11. Malchikov A.V. Dynamics of controlled motion of a six-link mobile in-pipe robot: dis. ... kand. tech. sciences. Kursk, 2013, 178 p.

12. Savin S.I. Dynamics of two-section apparatus with cable drive for moving through pipeline systems: dis. ... kand. tech. sciences. Kursk, 2014, 199 p.

13. U.S. Patent Application, Pipeline inspection gauge extractor / Laymon M.S., 2012, 13/538,760.

14. Mirats Tur J.M., Garthwaite W. Robotic devices for water main in-pipe inspection // A survey. J. of Field Robotics, 2010, vol. 27, no. 4, pp. 491–508.

15. Nguyen T.T., Kim D.K., Rho Y.W., Kim S.B. Dynamic modeling and its analysis for PIG flow through curved section in natural gas pipeline // Computational Intelligence in Robotics and Automation: IEEE International Symposium, Banff, Alberta, Canada, 2001, pp. 492–497.

16. Keshwani R., Bhattacharya S. Design and optimization of eddy current sensor for instrumented pipeline inspection gauge // Sensor Review, 2008, vol. 28, no. 4, pp. 321–325.

17. Pre-commissioning Pig (pipeline inspection gauge) [Electronic resource]. <https://www.nordstream.com/press-info/images/pre-commissioning-pig-pipeline-inspection-gauge-2718/>.

18. Pigs in the pipes [Electronic resource]. <https://www.theengineer.co.uk/issues/november-2013-online/pigs-in-the-pipes/>.

19. Wright C., Johnson A., Peck A., McCord Z., Naaktgeboren A., Gianfortoni P., Gonzalez-Rivero M., Hatton R., Choset H. Design of a modular snake robot // Intelligent Robots and Systems (IROS): IEEE/RSJ International Conference, San Diego, USA, 2007, pp. 2609–2614.

20. Baba T., Kameyama Y., Kamegawa T., Gofuku A. A snake robot propelling inside of a pipe with helical rolling motion // SICE Annual Conference: IEEE, Taipei, Taiwan, 2010, pp. 2319–2325.

21. Melo K., Paez L. Modular snake robot gaits on horizontal pipes // Intelligent Robots and Systems (IROS): IEEE/RSJ International Conference, Vilamoura, Portugal, 2012, pp. 3099–3104.

22. Bertetto A.M., Ruggiu M. In-pipe inchworm pneumatic flexible robot // Advanced Intelligent Mechatronics: IEEE/ASME International Conference, Como, Italy, 2001, vol. 2, pp. 1226–1231.

23. Roh S.G., Choi H.R. Differential-drive in-pipe robot for moving inside urban gas pipelines // IEEE transactions on robotics, 2005, vol. 21, no. 1, pp. 1–17.

24. Horodinca M., Doroftei I., Mignon E., Preumont A. A simple architecture for in-pipe inspection robots // International Colloquium on Autonomous and Mobile Systems, Germany, 2001, pp. 61–64.

25. Jun C., Deng Z., Jiang S. Study of locomotion control characteristics for six wheels driven in-pipe robot // Robotics and Biomimetics (ROBIO): IEEE International Conference, USA, 2004, pp. 119–124.

26. Choi H.R., Roh S.G. In-pipe robot with active steering capability for moving inside of pipelines // Bioinspiration and Robotics Walking and Climbing Robots, 2007, pp. 375–402.

27. Roh S.G., Ryew S., Yang J.H., Choi H.R. Actively steerable in-pipe inspection robots for underground urban gas pipelines // Robotics and Automation (ICRA): IEEE International Conference, Seoul, Korea, 2001, vol. 1, pp. 761–766.

28. Gálvez J.A., De Santos P.G., Pfeiffer F. Intrinsic tactile sensing for the optimization of force distribution in a pipe crawling robot // IEEE/ASME Transactions on mechatronics, 2001, vol. 6, no. 1, pp. 26–35.

29. Silva M.F., Tenreiro Machado J.A. A historical perspective of legged robots // Vibration and Control, 2007, vol. 13, no. 9-10, pp. 1447–1486.

30. Savin S.I., Vorochaeva L.Yu., Vorochaev A.V. Classification of locomotion regimes of a planar four-legged in-pipe robot // *Cloud of science*, 2017, vol. 4, no. 2, pp. 224–248.
31. Kazaryan K.G., Savin S.I. Design options the robot to move through the cavities // *Youth and the XXI Century*, Kursk, 2012, pp. 199.
32. Kazaryan K.G., Savin S.I. Robot with parallel structure for the study of piping systems // *Youth and the XXI Century*, Kursk, 2012, pp. 203.
33. Zagler A., Pfeiffer F. "MORITZ" a pipe crawler for tube junctions // *Robotics and Automation (ICRA): IEEE International Conference*, Taipei, Taiwan, 2003, vol. 3, pp. 2954–2959.
34. Pfeiffer F., Eltze J., Weidemann H.J. The TUM-walking machine // *Intelligent Automation & Soft Computing*, 1995, vol. 1, no. 3, pp. 307–323.
35. Savin S., Vorochaeva L. Nested quadratic programming-based controller for pipeline robots // *Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM): International Conference*, Saint-Petersburg, Russia, 2017, pp. 1–6.
36. Savin S.I., Vorochaeva L.Yu., Vorochaev A.V. Modelling of the movement quadruped walking robot in pipelines with the changing diameter and bends // *Fundamental and Applied Problems of Technics and technology*, 2017, no. 1 (321), pp. 39–46.
37. Savin S., Vorochaeva L. Footstep planning for a six-legged in-pipe robot moving in spatially curved pipes // *Control and Communications (SIBCON): IEEE International Siberian Conference*, Astana, Kazakhstan, 2017, pp. 1–6.
38. Savin S., Vorochaeva L. Pace pattern generation for an pipeline robot // *Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM): International Conference*, Saint-Petersburg, Russia, 2017, pp. 1–6.
39. Savin S.I., Vorochaeva L.Yu., Vorochaev A.V. Algorithm to generate gaits for robots moving in pipelines // *Proceedings of the South-West State University. Series Engineering and Technology*, 2017, vol. 7, no. 1 (22), pp. 90–97.
40. Savin S.I., Jatsun S.F., Rublev S.B. Experimental researches of operated movement at robot with external actuators for monitoring the small diameter pipelines // *Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*, 2012, vol. 14, no. 4-5, pp. 1277–1279.
41. Jatsun S., Yatsun A., Savin S. Pipe inspection parallel-link robot with flexible structure // *Adaptive Mobile Robotics: 15th International Conference on Climbing and Walking Robots and the Support Technologies for Mobile Machines, CLAWAR*, Baltimore, USA, 2012, pp. 713–719.
42. Jatsun S.F., Savin S.I. Studying of the vertical movements of an in-pipe inspection robot // *Proceedings of the South-West State University*, 2012, vol. 5 (44), no. 2, pp. 199–202.

Information about the author

Lyudmila Y. Vorochaeva, PhD, Assistant professor.

E-mail: mila180888@yandex.ru.

South-West State University.

Russia, 305040, Kursk, st. 50 let Oktyabrya, 94.

Sergey I. Savin, PhD, Assistant professor.

E-mail: sergey89mkgstu@mail.ru.

South-West State University.

Russia, 305040, Kursk, st. 50 let Oktyabrya, 94.

Received in February 2018

¹Вердиян М.А., д-р техн. наук, проф.,²Богданов В.С., д-р техн. наук, проф.,³Тынников И.М., д-р техн. наук, проф.,²Александрова Е.Б., канд. техн. наук, доц.,²Герасименко В.Б., доц.¹АО НИИЦемент²Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова³Холдинговая компания АлфиГрупп

РАСЧЕТЫ КРИТЕРИЯ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ ЦЕМЕНТНЫХ ЗАВОДОВ

aleksandrova76@mail.ru

В статье рассмотрена методика оценки конкурентоспособности цементных заводов с учетом качества выпускаемой продукции и их энергетической эффективности. Впервые предложены и научно обоснованы критерии конкурентоспособности цементного производства и качества цемента, позволяющие определить степень энергоэффективности каждого завода. Такая оценка эффективности работы цементных заводов имеет важное научно-практическое значение, определяет их рыночную привлекательность, отражает качество работы, дает возможность объективно выбирать направление модернизации действующих заводов, либо строительства нового производства. Показаны бесспорные преимущества заводов мокрого производства цемента не только по экологическим, но и по топливно-энергетическим показателям. Полученные результаты дают основания рекомендовать для каждого завода его энергетический показатель себестоимости. При минимализации этого показателя возрастает рыночная конкурентоспособность выпускаемого цемента.

Ключевые слова: цементный завод, цемент, способ производства, конкурентоспособность, энергопотребление, себестоимость.

Разработка новых научно обоснованных критериев конкурентоспособности (КС) цементных производств и качества цемента (КЦ), описанных нами в работах [1–6], позволяет определить для каждого завода степень его энергетической эффективности. Сравнительная оценка эффективности работы различных цементных заводов имеет важное научно-практическое значение, поскольку такая оценка, во-первых, определяет рыночную привлекательность каждого завода, формирует его стоимость, отражая качество его работы, и, во-вторых, дает возможность объективно выбирать пути дальнейшей модернизации действующих производств и конкретный способ нового производства цемента.

В настоящей работе приводятся результаты расчетов критерия КС ряда цементных заводов мокрого (№ 1–7, 9, 11, 14) и сухого (№ 8, 10, 12, 13) способов производства, являющихся весьма показательными для сравнения, о чем свидетельствуют основные технико-экономические показатели их работы (см. таблицу 1).

Предлагаемый критерий КС определяется отношением себестоимости цемента к его качеству. При этом себестоимость цемента C выражается в кВт·ч/т, а качество цемента – в значениях его эксергии $E_{\text{цем}}$ (МДж/т), также выраженной в

кВт·ч/т через известное соотношение универсальной единицы измерения работы, энергии: 1 кВт·ч = 3,6 МДж. Выражение для КС имеет вид

$$КС = \frac{3,6C(\mathcal{E})}{E_{\text{цем}} \cdot E_{\text{цем}} / d_{\text{ср}}}; \quad (1)$$

$$C(\mathcal{E}) = \frac{\mathcal{E}}{a} \cdot 100\%, \text{ кВт·ч/т}, \quad (2)$$

где $C(\mathcal{E})$ – себестоимость цемента, выраженная через общий удельный расход электроэнергии $\mathcal{E}$ на получение 1 т цемента и его долю a в общей структуре себестоимости; $d_{\text{ср}}$ – средний размер частиц цемента, мкм.

Пример: $\mathcal{E} = 90$ кВт·ч/т, $a = 15\%$. Тогда

$$C(\mathcal{E}) = \frac{90 \cdot 100}{15} = 600 \text{ кВт·ч/т}.$$

Чем меньше безразмерный критерий КС, тем лучше сравниваемый цемент и технология его получения, поскольку данный критерий отражает энергетическую эффективность отдельного цементного производства и учитывает общие энергозатраты на получение 1 т цемента, которые необходимо уменьшать, и качество цемента, которое следует повышать. Поэтому необходимо стремиться к минимальному значению критерия, т. е. к $КС_{\text{min}}$.

Методика и примеры определения критериев КС и КЦ подробно представлены в работах

[1–6] и здесь не рассматриваются. Отметим лишь, что исходными данными при этом являются: параметры работы завода: $\mathcal{E}$, a ; количество и качество каждой отгруженной партии цемента

($E_{\text{цем}}/d_{\text{ср}}$), выраженное через химико-минералогический состав; распределение частиц по размерам (РЧР), определяемое на лазерном гранулометре; активность цемента A в различные сроки твердения (1, 2, 3, 7 и 28 сут) [13].

Таблица 1

**Критерии конкурентоспособности (КС) различных цементных заводов
(базовый $КС_{\text{баз}}=1,405$)**

№ п/п	Завод	Средняя марка цемента, кг/см ²	$C_{\text{завод}}$ (себестоимость, руб/т, без НДС)	Место по $C_{\text{завод}}$	Электроэнергия на производство цемента			$C(\mathcal{E})_{\text{расч}}$, кВт·ч/т	$C_{\text{расч}}$, руб/т	Место по $C_{\text{расч}}$	$C_{\text{завод}} - C_{\text{расч}}$, руб/т	$КС_{\text{расч}} = C_{\text{расч}}/A_{\text{ср},28}$	Место по $КС_{\text{расч}}$	$КС_{\text{завод}} = C(\mathcal{E})/A_{\text{ср},28}$	Место по $КС_{\text{завод}}$
					Удельный расход, кВт·ч/т	Средний тариф, руб/кВт·ч, без НДС	Доля в себестоимости, %								
1	ОАО «Мальцовский портландцемент»	492,3	669,0	6	108,0	1,18	18,3	590,16	696,39	8	-27,39	1,414	3	1,198	4
2	ЗАО «Осколцемент»	483,0	696,8	8	94,8	1,31	18,3	518,03	678,62	6	+18,18	1,405	2	1,072	1
3	ОАО «Кавказцемент»	451,6	620,5	2	100,1	1,36	20,3	493,10	670,62	5	-50,12	1,484	4	1,091	2
4	ОАО «Белгородский цемент»	485,0	759,0	11	85,5	1,37	15,4	555,19	760,61	11	-1,61	1,568	7	1,144	3
5	ЗАО «Пикалевский цемент»	406,0	681,7	7	121,7	1,00	17,7	687,57	687,52	7	-5,87	1,693	9	1,693	10
6	ОАО «Ульяновскцемент»	400,0	731,3	10	105,0	0,92	13,7	766,42	705,10	9	+26,3	1,762	12	1,916	12
7	ОАО «Михайловцемент»	400,0	631,3	4	127,8	1,14	22,6	565,48	644,65	4	-13,35	1,611	8	1,413	5
8	ОАО «Липецкцемент»	421,0	635,3	5	129,2	1,06	21,5	600,93	636,98	2	-1,68	1,513	5	1,427	7
9	ОАО «Жигулевские стройматериалы»	419,8	979,1	13	129,1	1,03	13,8	935,50	963,57	13	+15,53	2,295	13	2,228	14
10	ОАО «Катавский цемент»	418,0	708,8	9	192,4	1,20	32,4	593,82	712,59	10	-3,79	1,704	10	1,420	6
11	ОАО «Савинский цементный завод»	400,0	1058,1	14	143,1	1,39	19,1	749,21	1041,4	14	+16,7	2,603	14	1,873	11
12	ОАО «Невьянский цементник»	412,5	627,4	3	161,8	1,00	25,1	644,62	644,62	3	-17,22	1,562	6	1,562	9
13	ОАО «Подгоренский цементник»	442,3	778,0	12	132,6	1,14	19,5	680,00	775,20	12	+2,8	1,752	11	1,537	8
14	ОАО «Ахангарацемент»	417,0	602,2	1	129,5	0,62	14,7	880,95	546,10	1	+56,1	1,31	1	2,112	13

Расчет для базового завода: $\frac{94,8 \times 100}{18,3} = 518,03 \text{ кВт·ч/т}$; $518,03 \times 1,36 = 678,62 \text{ руб./т}$; $\frac{678,62}{483,0} = 1,405$.

По формуле (2) были определены значения $C(\mathcal{E})_{\text{расч}}$ [кВт·ч/т] и $C_{\text{расч}}$ [руб/т], которые приведены соответственно в графах 9 и 10 таблицы.

Заводское значение себестоимости $C_{\text{завод}}$ использовать для расчетов критерия КС не рекомендуется, поскольку обычно при определении $C_{\text{завод}}$ учитывается структура полной себестоимости цемента, включающая все экономические элементы затрат (сырье и основные материалы, покупные изделия, полуфабрикаты и услуги производственного характера, вспомогательные материалы, топливо со стороны, энергия всех видов со стороны, заработная плата промышленно-производственного персонала и отчисления на социальное страхование, амортизация основных средств, прочие расходы) [7]. Это приводит к большой погрешности, так как дисперсия $C_{\text{завод}}$ равна сумме дисперсий отдельных ее элементов:

$$D(C_{\text{завод}}) = D(1) + D(2) + \dots + D(5) + \dots + D(8), \quad (3)$$

где 1–8 – элементы затрат.

С точки зрения непрерывного учета, достоверного контроля и приборного измерения затрат электроэнергия является наиболее объективным и независимым параметром. Ее погрешность определяется только классом точности используемого счетчика, поэтому всегда

$$D(C_{\text{расч}}) < D(C_{\text{завод}}), \text{ так как } D(C_{\text{расч}}) = D \quad (5),$$

где $D(5)$ – энергия всех видов со стороны.

Это обеспечивает заметно меньшую погрешность, чем при определении $C_{\text{завод}}$. Ведь ошибка даже в 1 руб/т при выпуске 1 млн. т цемента приводит к значительным финансовым потерям. В этом можно убедиться при сравнении $C_{\text{завод}}$ и $C_{\text{расч}}$ (см. таблицу, графа 12). Расхождение при этом составляет от 1,61 до 50 руб/т. Это означает, что практически все цементные заводы должны существенно повысить

требовательность к методической части своих расчетов по всем показателям без исключения. Ошибок при определении $C_{\text{завод}}$ не должно быть в принципе; значение $C_{\text{завод}}$ проверяется формулой (2), и такие расчеты легко выполняются заводскими специалистами. Только на двух заводах (№ 4 и 8) наблюдается минимальное расхождение между $C_{\text{завод}}$ и $C_{\text{расч}}$.

В рамках настоящих исследований нам не удалось пока организовать определение прочностных (активности A) и эксергетических характеристик для каждой видо-марки выпускаемых заводами цементов, чтобы затем рассчитать эти величины для условной средней марки цемента (см. таблицу, графа 3) по формуле

$$A_{\text{ср}} = b_1 A_1 + b_2 A_2 + \dots;$$

$$[E/d_{\text{ср}}]_{\text{ср}} = b_1 [E/d_{\text{ср}}]_1 + b_2 [E/d_{\text{ср}}]_2 + \dots, \quad (5)$$

где $b_1, b_2, \dots$ – доли выпускаемых видо-марок цемента с их концентрацией эксергии $E/d_{\text{ср}}$ и активностью A для каждой отгружаемой партии.

Однако ранее нами [6] была установлена прямая зависимость активности цемента A_{28} от его концентрации эксергии, из которой следует, что чем больше $E/d_{\text{ср}}$, тем больше A_{28} . Поэтому есть все основания использовать модифицированный критерий КС и рассчитывать его, пока отсутствуют данные об эксергии, через отношение себестоимости к средней марке цемента. Значения $КС_{\text{денеж}} = C_{\text{расч}}/A_{\text{ср},28}$ приведены в графе 13 таблицы. По этой величине заводы располагаются в определенной последовательности (см. графу 14), которая объективно отражает энергетическую эффективность и качество выпускаемой ими продукции. Такие данные получены впервые, поэтому представляют интерес выводы, сделанные на основе анализа результатов расчета. Главные из них заключаются в следующем:

1. Эффективность работы цементного производства следует оценивать по комплексному показателю, одновременно учитывающему энергетические затраты и качество выпускаемого клинкера, цемента. Таким показателем является критерий конкурентоспособности производства.

2. Оценка работы цементных заводов только по отдельным показателям, в том числе по себестоимости цемента, приводит к искаженным результатам и, соответственно, к принятию неверных решений по интенсификации производства. Это касается главного вопроса – выбора сухого или мокрого способа производства цемента [13].

3. Первые пять «призовых» мест занимают заводы мокрого способа производства цемента.

Это еще раз доказывает преимущества мокрого способа перед сухим. Аналогичные результаты представлены в работах С. И. Хвостенкова [8, 9]; расчетно-теоретическое обоснование этого факта с использованием эксергетического анализа в технологии цемента дано нами в работах [1–6].

Бесспорных преимуществ у заводов сухого способа производства цемента нет. Эти заводы (№ 8, 10, 12, 13) занимают соответственно 7, 6, 9 и 8-е места, сохраняя при этом свое главное преимущество – пониженное (примерно в 1,5 раза) абсолютное потребление топлива на обжиг клинкера.

4. Значения критерия КС рассматриваемых заводов свидетельствуют о том, что эффективность работы заводов сухого способа производства следует приближать к лучшим показателям эффективности работы заводов мокрого способа производства (№ 1–4), а не наоборот, как ошибочно считалось ранее.

5. Разработанный критерий КС позволяет объективно выбирать пути дальнейшей модернизации действующих заводов. И здесь предоставляется возможность впервые доказать, что в отдельных случаях можно обеспечить равенство энергетической эффективности некоторых заводов мокрого и сухого способов производства. Расчеты показывают, каким образом этого можно достичь.

Пример: ЗАО «Осколцемент» с $КС_2 = 1,405$ (1-е место) и ОАО «Липецкцемент» с $КС_8 = 1,513$ (7-е место) и $C_{\text{расч}} = 636,98$ руб/т. Требуется найти решение для достижения $КС_8 \leq 1,405$ в ОАО «Липецкцемент».

Вариант 1 связан с повышением средней марки цемента $A_{\text{ср}}$ при постоянстве $C_{\text{расч}}$. Определяем величину этой новой $A_{\text{ср}}$:

$$A_{\text{ср}} = \frac{636,98}{1,405} = 453,36 \text{ кгс/см}^2;$$

$$КС_8 = \frac{636,98}{453,36} = 1,405.$$

В данном случае необходимо увеличить среднюю марку цемента с 421 до 453,36 кгс/см², т. е. на 32,36 кгс/см². Этого можно достичь путем повышения активности клинкера с оптимизацией на основе автоматизированной системы расчета (АСР) [5] вида используемых сырьевых компонентов и параметров сырьевой шихты, т. е. КН, n , p ; минералогического состава клинкера – C_3S , C_2S , C_3A и C_4AF . Важно отметить, что такой этап исследований успешно отработан нами в ЗАО «Осколцемент» [1–6].

Вариант 2 связан с уменьшением себестоимости $C_{\text{расч}}$. Определяем величину необходимого снижения $C_{\text{расч}}$:

$$КС8 = \frac{591,50}{421} = 1,405,$$

которая равна $636,98 - 591,50 = 45,48$ руб/т или 45,48

$\frac{1,06}{42,9} = 42,9$ кВт·ч/т, что составляет 7,13 % от общей себестоимости.

Таким образом, для достижения $КС8 \approx КС2$ необходимо либо повысить среднюю марку цемента на 32,36 кгс/см², либо снизить Срасч на 42,9 кВт·ч/т.

Вариант 3 связан с внедрением на заводе одновременно АСР и мельниц дискретно-непрерывного действия [5, 6], что и было сделано в ЗАО «Осколцемент».

6. На каждом заводе имеются резервы повышения энергетической эффективности производства. Для их выявления следует вначале рассчитать предельное значение $КС_{min}$, т. е. определить минимально возможные энергозатраты и максимально возможное качество цемента, которые могут быть достигнуты. Это можно обеспечить только на основе новых принципов организации выпуска цемента с максимальной эксергией в мельницах дискретно-непрерывного действия, что автоматически гарантирует снижение энергозатрат и повышение активности клинкера и цемента [5, 6, 11].

Представляется возможным по-новому организовать работу каждого завода путем установки конкретных заданий на значение критерия КС. Достижение этих количественных значений и является главным условием эффективности работы завода.

7. Полученные результаты убедительно свидетельствуют о том, что в технологических системах стройиндустрии целесообразно ввести новую рыночную характеристику объекта – его энергетический рейтинг.

Для цементной отрасли рейтинг – это показатель достижений конкретного завода в классификационном списке всех рассматриваемых цементных заводов, количественно определяемый по критерию КС [10].

Полученные результаты расчета критерия КС различных цементных заводов за 2006 год позволяют сделать главные выводы методологического характера:

8. Каждый цементный завод имеет свой и только свой персональный критерий. Цементные заводы нельзя противопоставлять друг другу по их критерию. Главные причины этого заключаются в следующем:

- каждый завод располагает собственной сырьевой базой, используя при этом различные по

своим физико-химическим и физико-механическим свойствам сырьевые карбонатные и алюмосиликатные компоненты со своими эксергетическими характеристиками;

- на каждом заводе используется своя технология и традиционное оборудование;

- средства автоматизации, контроля и управления процессами;

- уровень подготовленности специалистов завода.

9. Методологический вывод таков: цементные заводы обеспечивают выпуск необходимого количества цемента, но при этом, к большому сожалению, отсутствует перспектива развития технологии цемента. В частности, не решены для заводов вопросы оптимизации выбора оптимального состава сырьевых шихт, оптимальная схема превращения этих компонентов в шлам и муку, оптимизация работы шаровых трубных мельниц.

Главный вывод из сказанного:

- индустриальный период выпуска портландцемента общестроительного пользования закончился; нужно переходить к выпуску только адресных цементов с потребительскими свойствами.

Адресный портландцемент (ПЦ) – это стандартизированный ПЦ, впервые полученный (сформированный) на основе новой дисперсной системы, впервые комплексно учитывающий одновременно распределение частиц цемента по времени пребывания (РВП), размерам (РЧР), их эксергии, а также учитывающей условия работоспособности строительного материала, где ПЦ используется по его концентрации (С), температуре (Т) и давлению (Р) среды, где он используется.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Вердиян М.А., Тынников И.М., Марченков С.В. Критерии технологической конкурентоспособности цементного производства. Часть 1 // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2007. № 7. С. 62–65.
2. Вердиян М.А., Тынников И.М., Марченков С.В. Критерии технологической конкурентоспособности цементного производства Часть 2 // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2007. № 8. С. 32–34
3. Вердиян М.А., Тынников И.М., Марченков С.В. Методика расчета новых критериев эффективности цементного производства // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2007. № 9. С. 72–76.
4. Вердиян М.А. Эксергетический анализ процессов химической технологии (на примере технологии цемента). М.: РХТУ, 2004. 91 с.

5. Вердиян М.А., Адаменко О.Е., Воронин А.В. Эффективность новых технологических схем цементного производства // Цемент и его применение. 1995. № 4. С. 21–24.
6. Вердиян М.А., Платонов В. С. Технологическое обновление цементных заводов. Выбор пути // Цемент и его применение. 1996. № 4. С. 29–34.
7. Вердиян М.А., Вердиян А.М., Текучева Е. В. Автоматизированная система оптимизации сырьевых шихт на основе эксергетического анализа в технологии цемента // Цемент и его применение. 2003. № 3. С. 21–25.
8. Вердиян М.А., Несмеянов Н.П., Тынников И.М. Эксергетический анализ в задачах одновременного повышения эффективности работы мельниц и качества цемента. М.: МАСИ, 2005. 101 с.
9. Богданов В.С., Д.В. Богданов, Семикопенко И.А. Процессы в производстве строительных материалов. Старый Оскол.: ТНТ, 2017. 436 с.
10. Хвостенков С.И. Сравнительные технико-экономические показатели сухого и мокрого способов производства портландцемента // Строительные материалы. 2005. № 5. С. 16–19.
11. Хвостенков С.И. О достоинствах мокрого способа производства портландцемента // Строительные материалы. 2006. № 11. С. 24–29.
12. Богданов В.С. Механическое оборудование промышленности стройматериалов. Белгород, 1998. 180 с.
13. Ильин Д.В., Вердиян М.А., Несмеянов Н.П. Комплексная технологическая безопасность цементных заводов // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2013. № 5 С. 83–86.

Информация об авторах

Вердиян Мэлс Аспандарович, доктор технических наук, профессор.

АО НИИЦемент.

Россия, 142101, Московская обл., г. Подольск, ул. Плещеевская, д. 15.

Богданов Василий Степанович, доктор технических наук, профессор.

E-mail: v.bogdanov1947@gmail.com

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.

Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Тынников Иван Михайлович, доктор технических наук, профессор.

E-mail: tynnikov49@mail.ru

Холдинговая компания АлфиГрупп.

Россия, 241050, г. Брянск, ул. Красноармейская, д. 136 Б

Александрова Елена Борисовна, кандидат технических наук, доцент.

E-mail: aleksandrova76@mail.ru

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.

Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Герасименко Вера Борисовна, доцент.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.

Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила в декабре 2017 г.

© Вердиян М.А., Богданов В.С., Тынников И.М., Александрова Е.Б., Герасименко В.Б., 2018

M.A. Verdiyan, V.S. Bogdanov, I.M. Tynnikov, E.B. Alexandrova, V.B. Gerasimenko
CALCULATION OF THE COMPETITIVE ABILITY CRITERIA OF CEMENT PLANTS

The article describes the method of assessing the competitiveness of cement plants, taking into account the quality of products and their energy efficiency. For the first time the criteria of cement production competitiveness and of cement quality have been offered and scientifically grounded, which allowed defining the degree of energy efficiency of each plant. This evaluation of the performance of cement plants is of great scientific and practical importance, as it determines their market attractiveness, reflects the quality of their operation, makes it possible to objectively choose the direction of the existing plants modernization, or of the construction of a new plant. The advantages of wet-method cement production plants not only in ecological, but also on fuel and energy indicators have been demonstrated. The obtained results give grounds to recommend for each plant its energy cost index. The market competitiveness of the produced cement increases with the minimization of this cost index.

Keywords: cement plant, cement, production method, competitiveness, energy consumption, production costs.

REFERENCES

1. Verdiyana M.A., Tynnikov I.M., Marchenkov S.V. Criteria of technological competitiveness of cement production. Part 1 // Building materials, equipment, technologies of the XXI century, 2007, no. 7, pp. 62–65.
2. Verdiyana M.A., Tynnikov I.M., Marchenkov S.V. Criteria of technological competitiveness of cement production. Part 2 // Building materials, equipment, technologies of the XXI century, 2007, no. 8, pp. 32–34.
3. Verdian M.A., Tynnikov I.M., Marchenkov S.V. Method of calculating new criteria for the effectiveness of cement production // Building materials, equipment, technologies of the XXI century, 2007, no. 9, pp. 72–76.
4. Verdian M.A. Exergetic analysis of the processes of chemical technology (using the example of cement technology). Moscow: RChTU, 2004. 91 p.
5. Verdian M.A., Adamenko O.E., Voronin A.V. Efficiency of new technological schemes of cement production // Cement and its application, 1995, no. 4, pp. 21–24.
6. Verdiyana M.A., Platonov V.S. Technological renewal of cement plants. Path selection // Cement and its application, 1996, no. 4, pp. 29–34.
7. Verdian M.A., Verdiyana A.M., Tekucheva E.V. Automated system for optimization of raw materials based on exergic analysis in cement technology // Cement and its application, 2003, no. 3, pp. 21–25.
8. Verdian M.A., Nesmeyanov N.P., Tynnikov I.M. Exergetic analysis in the tasks of simultaneous increase in the efficiency of mills and the quality of cement. Moscow: MASI, 2005. 101 p.
9. Bogdanov V.S., Bogdanov D.V., Semikopenko I.A. Processes in the production of building materials. Stary Oskol: TNT, 2017, 436 p.
10. Khvostenkov S.I. Comparative technical and economic indicators of dry and wet methods of Portland cement production // Stroitel'nye Materialy, 2005, no. 5, pp. 16–19.
11. Khvostenkov S.I. On the advantages of a wet method of Portland cement production // Stroitel'nye Materialy, 2006, no. 11, pp. 24–29.
12. Bogdanov V.S. Mechanical equipment of the building materials industry. -Belgorod, 1998, 180 p.
13. Il'in A.S., Verdiyana M.A., Nesmeyanov N.P. Complex technological safety of cement plants // Bulletin of Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, 2013, no. 5, pp. 83–86.

Information about the author

Mels A. Verdiyana, PhD, Professor.

Niicement Stock company.

Russia, 142101, g. Podolsk, st. Plescheevskaya, 15.

Vasiliy S. Bogdanov, PhD, Professor

E-mail: v.bogdanov1947@gmail.com

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov.

Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Ivan M. Tynnikov PhD, Professor.

E-mail: tynnikov49@mail.ru

Holding company AlfiGroup

Russia, 241050, Bryansk, st. Krasnoarmeyskaya, 136 B.

Elena B. Alexandrova, PhD, Assistant professor.

E-mail: aleksandrova76@mail.ru

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov.

Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Vera B. Gerasimenko, Assistant professor.

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov.

Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received in December 2017

Севостьянов В.С., д-р техн. наук, проф.,
Сиваченко Т.Л., соискатель,
Севостьянов М.В., канд. техн. наук, доц.,
Горягин П.Ю., аспирант,
Бабуков В.А., вед. инженер

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СОЗДАНИЯ ИГЛОФРЕЗЕРНЫХ ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЕЙ МНОГОЦЕЛЕВОГО НАЗНАЧЕНИЯ

goryagin.py@bstu.ru

В настоящее время увеличиваются объёмы техногенных материалов. Поэтому актуальными задачами являются комплексная переработка и утилизация твёрдых промышленных и бытовых отходов. В большинстве случаев, при переработке техногенных материалов одной из энергоемких стадий является процесс измельчения. От степени измельчения зависит возможность изготовления изделий из перерабатываемых отходов и области применения вторичного сырья. Вовлечение в технологический оборот большого количества анизотропных и сложных в обработке материалов требует внедрения новых типов измельчителей. Одними из них являются иглофрезерные аппараты, создание которых требует разработки, как их конструкций, так и методов расчета и проектирования, учитывающих физико-механические свойства перерабатываемых техногенных материалов. Для этого выполнен необходимый комплекс исследований и обосновано их применение.

Ключевые слова: иглофрезерный измельчитель, анизотропные материалы, механизм разрушения, истирание, рабочий орган, адаптивность, методика расчета, цепной агрегат.

Введение. В современных технологиях неуклонно возрастают объёмы переработки анизотропных и неоднородных по составу и свойствам материалов. В их состав можно включить: продукты деревопереработки, твердые бытовые отходы, резино-технические композиции, пластик, структурно неоднородные минералы, отходы строительного производства, отходы сельскохозяйственного производства, хвосты переработки полезных ископаемых и многое другое. В целом эти материалы обладают набором потенциальных качеств, которые после соответствующей переработки можно превратить в ценные потребительские свойства и получать высококачественные продукты. Эффективная переработка таких материалов с помощью традиционных технологических машин сталкивается с техническими трудностями, что требует создания принципиально новых агрегатов, обладающих дополнительными функциональными возможностями.

Постановка проблемы. Развитие дезинтеграторных технологий переработки материалов ограничивается их необычайно широким многообразием по номенклатуре, свойствам, условиям обработки, степени влияния на качество готового продукта, объёмами переработки и т.д. Характер обработки материалов определяет общую технологию проведения процессов и конструктивное исполнение оборудования, а их целостное взаимосвязанное описание на современном этапе известными методами пока не представляется возможным [1]. Особенно тяжелое положение

складывается с переработкой анизотропных и сложных по составу и свойствам материалов, так как в этой технологической нише нет отработанных научных концепций и, что самое главное, отсутствует наличие эффективного оборудования, обладающего новыми функциональными возможностями [2].

Создание высокоэффективных технологических машин для комплексной переработки материалов является актуальной задачей как с научной, так и с практической точки зрения. При этом важно понимать: известные конструкции измельчительных машин во многом исчерпали свой потенциал [3], что вызывает острую необходимость поиска новых технологических решений и принципа действия дезинтеграторного оборудования. По мнению авторов, одним из направлений развития агрегатов для помола сложных по составу, свойствам и реологическому поведению материалов может быть использование в них иглофрезерных рабочих органов, наборов или отдельных стержневых элементов [4], которые в силу особенностей конструктивного исполнения обеспечивают новые механизмы воздействия на перерабатываемую среду.

Основная часть. Проектирование стержневых аппаратов требует учета особенностей поведения рабочих элементов в зависимости от свойств перерабатываемых материалов и решения конкретных технологических задач. Используя метод аналогии, учитывающий предшествующий опыт создания и эксплуатации помольного

оборудования, представим базовые варианты актов стержневого измельчения (см. рис. 1).

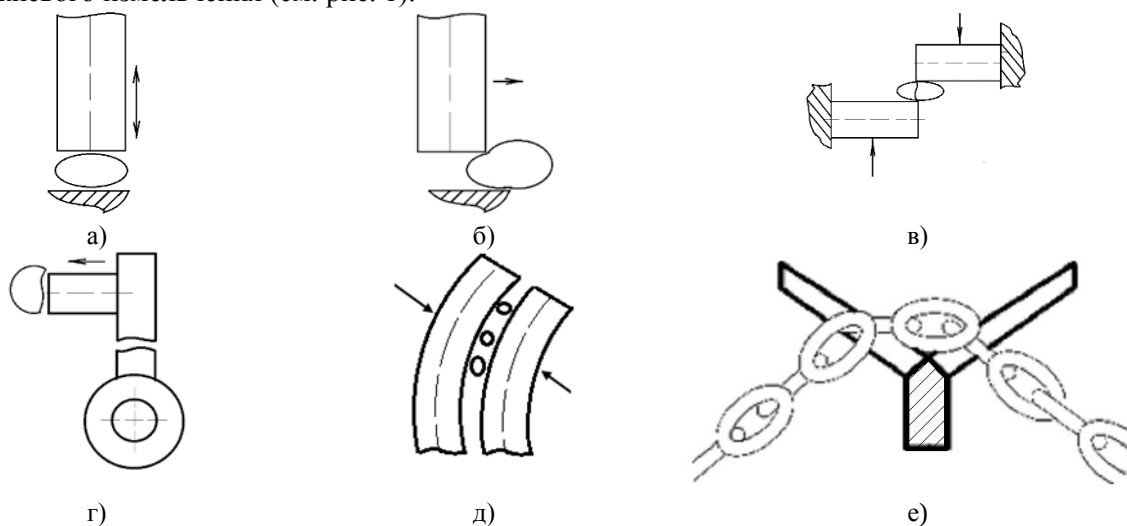


Рис. 1. Базовые варианты разрушения частиц материала стержнями иглофрез

На представленных схемах приведены идеализированные варианты разрушения: а – ударно-раздавляющее разрушение, б – истирание, в – срез, г – свободный удар, д – сжатие по образующим стержней, е – ударно-режущее воздействие с установкой иглофрез на гибком цепном подвесе. Эти виды разрушения необходимо правильно сочетать с конкретной конструкцией иг-

лофрезы, условиями переработки материала, видом приводного механизма и другими исходными условиями их работы. Рассмотрим разработанные нами ранее конструкции иглофрезерных аппаратов различного функционального назначения. Для этого воспользуемся рисунком 2 и рассмотрим приведенные на нем их базовые конструктивные схемы.

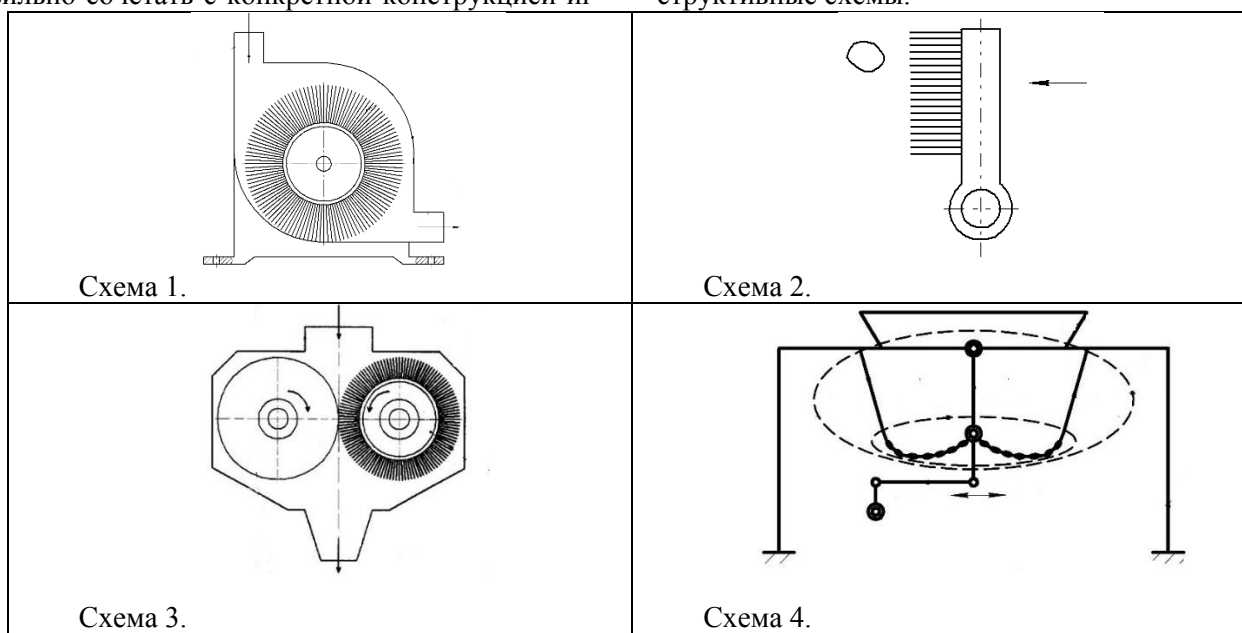


Рис. 2. Конструктивные схемы иглофрезерных измельчителей

Схема 1. Истиратель. Рабочий процесс в нем осуществляется за счет подачи частиц исходного продукта в зазор между игольчатым ротором и охватывающим его корпусом. При этом механизм разрушения – чистое истирание, что предполагает его использование для обработки малоабразивных и небольших по крупности частиц материала, например, резины, целлюлозы, пластика и др.

Схема 2. Рабочий орган (било) молотковой дробилки. Его рабочая часть содержит наборы стержней, обращенных своими торцами в сторону вращения била. Область его применения – тонкое дробление и грубый помол минеральных материалов, например, известняка, а также работа в составе двухстадийных агрегатов, например, совместно со струйной мельницей.

Схема 3. Валковый измельчитель. Конструкция состоит из двух встречно вращающихся валков, один из которых выполнен из набора цилиндрических щеток. Своей торцевой поверхностью щетки упираются в поверхность гладкого вала. Процесс измельчения происходит в контактных зонах. Конструкция обеспечивает достаточно эффективный домол различных продуктов, в том числе цементных материалов, извести, мела, а также механоактивацию как отдельных компонентов, так и их композиций.

Схема 4. Цепной агрегат с иглофрезерными рабочими элементами. Основу конструкции составляют полотна цепных завес, которые образуют двухлотковую рабочую камеру и оснащены активизаторами процесса в виде зубьев-стержней. Подвешенные на подвижной штанге цепные завесы под действием кривошипно-шатунного привода совершают колебательные перемещения с большими амплитудами, что обеспечивает высокую интенсивность процесса измельчения.



Рис. 3. Иглофрезерный рабочий орган

Измельчению подвергались длинномерные куски резины, с поперечным сечением 20×40мм, вырезанные из автомобильных шин, которые равномерно подавались через загрузочный патрубков и подвергались многочисленным микро-

Приведенные выше конструкции отобраны из достаточно большого числа технических решений иглофрезерных измельчителей, в необходимой степени учитывают весь цикл выполненных ранее поисковых исследований и отражают потенциальные возможности по переработке различных материалов. Конструктивно-технологическое исполнение измельчителей с иглофрезерными рабочими органами, характеризующимися развитой поверхностью воздействия на измельчаемые материалы, открывает дополнительные возможности в создании новых конструкций агрегатов для комплексной переработки техногенных материалов анизотропной структуры.

Для проведения измельчения материала по методу истирания (см. схему 1 на рис. 2) была изготовлена экспериментальная установка [5], рабочий орган которой приведен на рис. 3, а общий вид – на рис. 4. Диаметр такого рабочего органа равен 150 мм, ширина – 60 мм, мощность приводного электродвигателя $P = 1,2$ кВт, а его частота вращения – 2940 об/мин.



Рис. 4. Общий вид иглофрезерного измельчителя

срезам торцами проволочных стержневых элементов рабочего органа. Результаты анализа дисперсного состава измельченного материала, проанализированного на лазерном гранулометре, приведены на рисунке 5.

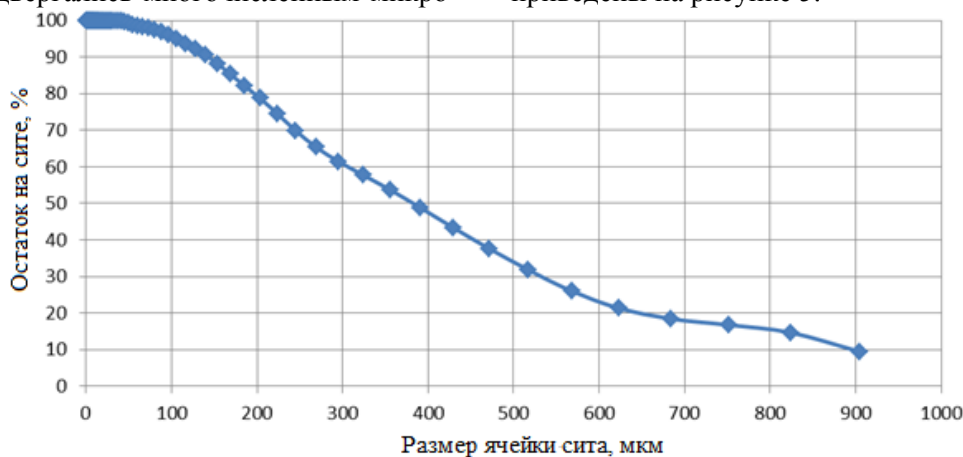


Рис. 5. Результаты анализа дисперсного состава измельченной резины

Полученные результаты свидетельствуют о высокой интенсивности процесса измельчения и

возможности получения мелкодисперсных порошков резины, пластика и ряда композитов.

Процесс разрушения материала является комплексным, сочетающим в себе истирание и микрорезание. Изначально на поверхности резины образуются мелкие борозды, размеры которых определяются диаметром проволочек щеточных элементов, которые последовательно наращиваются на следующих циклах проведения процесса измельчения. На основе использования данного механизма истирания возможно создание универсальных агрегатов для переработки анизотропных материалов в промышленных масштабах, например, для измельчения автомобильных шин. Для этого требуется в состав подобных агрегатов включать устройства для подачи исход-

ного материала, специальных шпинделей с иглофрезерными рабочими органами, систем аспирации и т.д.

Исследование процессов ударного измельчения, соответствующего схеме 2 (рис. 2), проводилось на специальном стенде, общий вид которого приведен на рисунке 6. В качестве ударных органов использовались плоские и щеточные била (см. рис. 7). При измельчении отсева ячеистого бетона крупностью 3-6 мм при скорости ударного воздействия 37,5 м/сек установлено, что щеточные била позволяют увеличить выход мелкой фракции – 0,08 мм в 3-4 раза. Это можно рассматривать как предпосылки создания на этой основе молотковых мельниц с повышенной степенью измельчения.

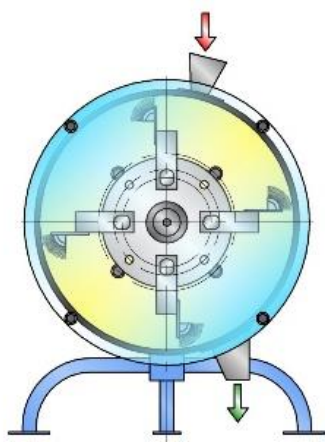


Рис. 6. Общий вид стенда для ударного измельчения



Рис. 7. Варианты конструкций плоских и щеточных бил

Для проведения экспериментальных исследований разработан также опытный образец иглофрезерного валкового измельчителя, конструкция которого соответствует схеме 3 рисунка 2, а общий вид изображен на рисунке 8.

Конструкция содержит два цилиндрических вала, вращающиеся навстречу друг другу. Один из них является щеточным. Передача крутящего момента привода посредством клиноременной передачи осуществляется на гладкий валок, который за счет сил трения, т.е. прижатия валков друг к другу, приводит в синхронное вращение щеточный валок. Стержни щеточного вала своими торцами интенсивно измельчают сыпучий материал, подаваемый в межвалковое пространство.

Подобное решение позволяет интенсифицировать единичные акты разрушения частиц исходного материала и получать готовый продукт с измененными и улучшенными свойствами, например, активировать композиции вяжущих веществ и осуществлять селективное измельчение полезных ископаемых. Механоактиватор валкового типа может также найти применение

при домоле цемента, обработке лежалых цементов, а также придания порошковым продуктам хорошей сыпучести, увеличению их реакционной способности и дезагрегации.



Рис. 8. Общий вид иглофрезерного валкового измельчителя

Изготовленная конструкция рабочего вала включает в себя щетки, которые состоят из стального ворса с плотной упаковкой. Диаметр цилиндрических щеток составляет 150 мм, а ширина – 30 мм. Рабочий валок включает в себя две соединенные между собой щетки. Мощность приводного электродвигателя $P = 1,5$ кВт.

В качестве измельчаемого материала использовалась сухая комовая глина, которая равномерно подавалась в рабочую зону иглофрезерного измельчителя. Результаты экспериментов, выполненные при различных частотах вращения валков, приведены на рисунках 9 и 10. Анализ по-

казывает, что иглофрезерное валковое измельчение характеризуется достаточно высокой интенсивностью процесса, которая возрастает с увеличением частоты вращения валков. Причём четко прослеживается закономерность увеличения не только выхода самой мелкой фракции, но и активный переход от более крупных к более мелким фракционным составам. При этом сохраняется пропорциональность между ними. Это свидетельствует о селективности и избирательности процесса помола, что может быть использовано для механоактивации строительных материалов и рудоподготовки в обогащительных процессах.



Рис. 9. Результаты измельчения глины, $n = 2920$ об/мин

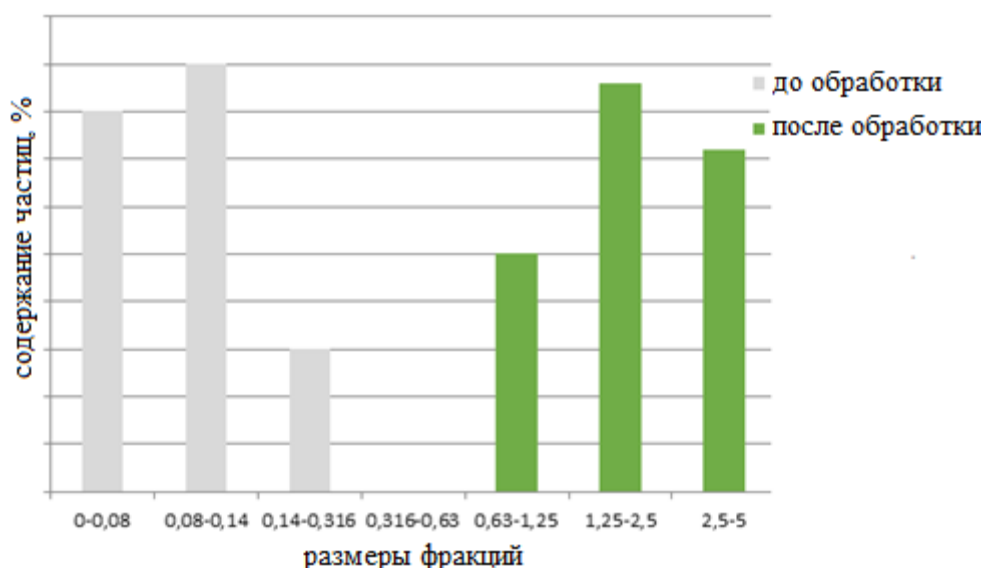


Рис. 10. Результаты измельчения глины, $n = 1440$ об/мин

Развитие данного научно-технического направления является основой для создания роторно-центробежных агрегатов комбинированного действия (РЦА КД) [6-8] с иглофрезерными рабочими органами, что существенно расширяет сферу их применения в различных отраслях промышленности: химической, строительной, аграр-

ном секторе экономики и др., а также при комплексной переработке минеральных и органических техногенных материалов (полимерных отходов, отходов деревообрабатывающей промышленности, ЦБО и др.)

РЦА КД [7] содержит корпус, состоящий из двух горизонтально размещенных друг за

другом камер: камеры дробления 1 и камеры тонкого помола 2 (рис. 11).

В верхней части корпуса камеры дробления (рис. 12) расположен пневмоупругий валковый питатель для подачи материала, состоящий из загрузочного лотка 3 и подающего валика 4. Внутри камеры расположен эксцентрично установленный относительно оси цилиндрического корпуса бандаж 5, который футерован съемными элементами (профильными пластинами) 6, имеющими отверстия для выхода материала.

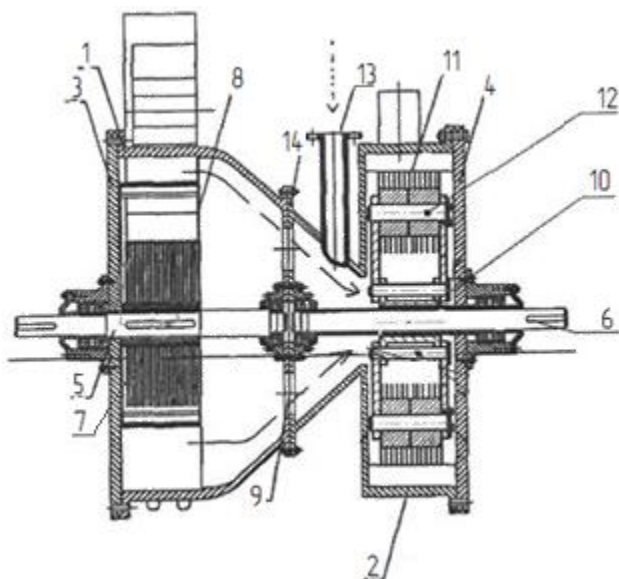


Рис. 11. РЦА КД: 1 – камера дробления, 2 – камера тонкого помола; 3, 4 – крышка; 5, 6 – вал; 7 – ротор камеры дробления; 8 – перегородка камеры дробления; 9 – переходное отверстие; 10 – ступица; 11 – щетка; 12 – ось; 13 – патрубок добавок; 14 – межкамерная перегородка

Согласно изобретению, иглофрезерные рабочие органы камеры тонкого помола выполнены из набора стержневых элементов, собранных в пакеты и жестко закрепленных одним концом на держателе (рис. 12). Такой ротор имеет развитую рабочую поверхность, которая обеспечивает эффективное измельчение материала, расширяет технологические возможности агрегата.

РЦА КД работает следующим образом. Исходный материал загружается с помощью питающего устройства в камеру дробления и измельчается при помощи дисковых фрез. Снабжение внутренней поверхности данной камеры профилированными пластинами позволяет интенсифицировать процесс помола. Затем измельченная в камере дробления масса попадает в рабочую зону камеры тонкого помола. Причем подача материала, измельченного в камере дробления, в камеру тонкого помола (диспергирования) происходит за счет разрежения, созданного в рабочей зоне

второй камеры. Через загрузочное устройство (патрубок) вводятся тонкодисперсные добавки в рабочую зону камеры тонкого помола. В ней происходит окончательное доизмельчение (диспергирование) и смешение компонентов смеси. После окончательного измельчения до необходимой тонины помола масса выводится за пределы камеры через выгрузочный патрубок.

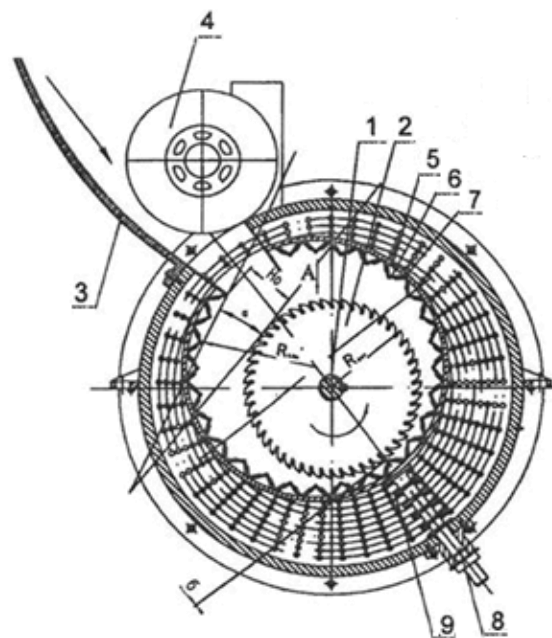


Рис. 12. Камера дробления: 1 – ротор; 2 – дисковая фреза; 3 – загрузочный лоток; 4 – подающий валик; 5 – бандаж; 6 – съемный элемент; 7 – неподвижные направляющие; 8 – регулировочное устройство; 9 – пружина

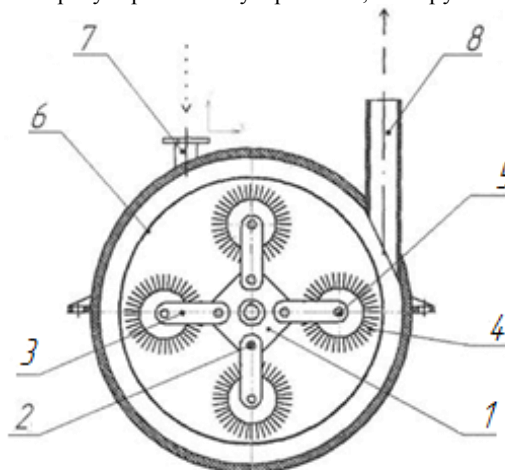


Рис. 13. Камера тонкого помола: 1 – ступица; 2, 5 – ось; 3 – сержа; 4 – щетка; 6 – сетчатый экран; 7 – патрубок добавок; 8 – выгрузочный патрубок

РЦА КД позволяет увеличить число единичных контактов рабочего органа и материала, что повышает интенсивность процесса помола. По-

мимо этого, сразу возникают ударные, срезающие, скалывающие и разрывающие напряжения в контактных зонах.

Разработка и исследования РЦА КД с иглофрезерными рабочими органами стало основой конструкторско-технологического совершенствования измельчительного оборудования по следующим направлениям: ресурсосбережение, стадийность измельчения, комбинированное воздействие на перерабатываемый материал (сочетание механического, пневмомеханического, циркуляционного и др. видов воздействий), возможность введения различных добавок и смещение их с измельчаемым материалом и др.

Технологические испытания цепного агрегата [9], конструкция которого соответствует схеме 4 на рис. 2, а общий вид приведен на рисунке 14, проводились на кусковом меле крупностью $5 \div 100$ мм и влажностью $15 \div 18\%$, кусковой глине крупностью $5 \div 100$ мм и влажностью $12 \div 15\%$ и базальтовых волокнах в виде рассыпчатого материала с размерами единичных конгломератов $30 \div 100$ мм, а также на сухой и увлажненной смеси перечисленных материалов.



Рис. 14. Общий вид экспериментального цепного агрегата

Куски мела и глины хорошо просеиваются колеблющимися поверхностями цепных завес, но при этом интенсивное их разрушение происходит только при взаимодействии с зубчатыми и стержневыми элементами. Активизация процесса обеспечивается увеличением амплитуды колебаний толкающего бруса и частоты вращения вала приводного электродвигателя. Это обусловлено тем, что тяжелые куски такого материала из провисающих поверхностей цепных завес, необходимо подать в зоны интенсивного разрушения между обращенными друг к другу зубчатыми и стержневыми элементами. Это условие легко обеспечивается при величине эксцентриситета приводного звена $70 \div 80$ мм и частоты вращения выходного вала мотор-редуктора более 300 об/мин при его мощности $P = 0,8$ кВт.

Обработка конгломератов базальтовых волокон, в цепном агрегате показала – исходный продукт хорошо циркулирует в рабочем пространстве аппарата, что объясняется его низкой насыпной плотностью, не превышающей 200 кг/м^3 . Это способствует его активной подаче в зоны между обращенными друг к другу зубчатыми и стержневыми элементами, которые создают в конгломератах базальтовых волокон разрывающие и сдвиговые воздействия, что приводит не только к их разрушению, но и к распушке. Степень распушки в установившемся режиме работы аппарата составляет не менее 2, а производительность по проходу составляет $10 \div 15 \text{ дм}^3/\text{мин}$, считая по исходному сырью.

Поведение цепного рабочего оборудования характеризуется рядом особенностей: во-первых, это развитая поверхность, на которую накладывается сложное движение с повышенными амплитудами колебаний; во-вторых, создание в среде обрабатываемого материала новых механизмов воздействия, в том числе кинематических и силовых; в-третьих, сопряжения цепных звеньев и активизирующих процесс элементов зубьев и стержней требуют их учета при оценке работы с различными материалами.

При переработке сухих смесей мела, глины и базальтовых волокон процесс измельчения аналогичен процессу измельчения их отдельных компонентов, с той разницей, что базальтовое волокно в большей степени измельчается и в меньшей степени распушивается вследствие блокирования их волокон частицами мела и глины. Переработка смесей мела, глины и базальтовых волокон с влажностью $50 \div 70\%$ не имеет принципиальных ограничений при полной загрузке аппарата. В случае малого заполнения рабочего пространства происходит окатывание комков материала. При этом наблюдается миграция влаги к поверхности материалов вследствие динамического воздействия на них рабочих органов.

Технологические возможности цепного агрегата складываются из нескольких составляющих, к числу которых можно отнести: активное движение материала в рабочем пространстве, высокую просеивающую способность, обусловленную принудительной подачей частиц через зазоры между элементами цепей под действием инерционных сил, созданием сложного напряженного состояния в обрабатываемом продукте, реализацией эффекта самоочищения и др.

Выводы. Анализ конструкций иглофрезерных измельчителей [7,10], оценка возможных механизмов воздействия щеточных рабочих органов на обрабатываемые материалы, а также результаты их технологических испытаний показы-

вают, что этот класс оборудования является особенно эффективным для измельчения анизотропных и сложных по составу и свойствам материалов. Развитие иглофрезерных измельчителей должно идти по пути совершенствования рабочих органов из числа широко используемых в промышленности иглофрез и щеток различных конструкций, применяемых для упрочнения и зачистки поверхностей от ржавчины, окалины и заусенцев. При создании измельчительных агрегатов повышенной производительности потребуются изготовление специальных щеточных рабочих органов больших размеров.

Приведенные нами конструкторско-технологические разработки, экспериментальные исследования агрегатов с различным конструктивным исполнением иглофрезерных рабочих органов позволяют утверждать, что данный класс оборудования после выполнения необходимого цикла научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ может конкурировать с известными конструкциями измельчителей и являться базовой основой для создания принципиально новых измельчительных машин, а также малотоннажных технологических комплексов в сфере импортозамещения и научно-технического предпринимательства [11].

Источник финансирования. Государственное задание № 9.11523.2018/11.12.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сравнение различных видов измельчителей // Матер. первой конф. по сравнению различных видов измельчителей. Часть 1. Под ред. Овчинникова П.Ф., Одесса, ОГМА, 1993. 130 с.
2. Севостьянов В.С., Уральский В.И., Севостьянов М.В., Носов О.А. Технологические комплексы и оборудование для переработки и утилизации техногенных материалов. Белгород, Из-во БГТУ, 2015. 320 с.
3. Сиваченко Л.А., Шаройкина Е.А., Севостьянов В.С., Сиваченко Т.Л. Вопросы развития техники и технологии измельчения материалов. // Энергосберегающие технологические комплексы и оборудование для производства строительных материалов: межвуз. сб. ст. Белгород, БГТУ, 2010. С. 315–321.
4. Севостьянов В.С., Сиваченко Т.Л., Михайличенко С.А. Технологические аппараты с иглофрезерными рабочими органами для комплексной переработки композиционных материалов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2015. № 2. С. 50–56.
5. Севостьянов В.С., Сиваченко Т.Л. Иглофрезерные измельчители, их технологические возможности и пути развития // Вестник Белорусско-Российского университета. 2016. № 1. С. 69–77.
6. Пат. 2446015 Российская Федерация, В 02С 18/14. Установка для измельчения волокнистых материалов / Глаголев С.Н., Гридчин А.М., Севостьянов В.С., Михайличенко С.А., Макридин А.А.; заявитель и патентообладатель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова"; опубл. 27.03.2012, Бюл. № 9.
7. Пат. 2540549 Российская Федерация, D 21В 1/04, В 02С 18/00, В 02С 7/00. Установка для измельчения волокнистых материалов / Глаголев С.Н., Севостьянов В.С., Севостьянов М.В., Сиваченко Л.А., Сиваченко Т.Л., Михайличенко С.А., Макридин А.А., Маншин А.А.; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова"; опубл. 10.02.2015, Бюл. №4.
8. Горягин П.Ю., Ермилов Р.А. Техника и технологии для переработки техногенных полимерных материалов // Молодежь и научно-технический прогресс: Сб. докл. X международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. В 4 т. Т. 3. Губкин: ООО «Ассистент плюс», 2017. С. 83–86.
9. Сиваченко Л.А., Ровский А.М., Реутский И.А. Цепные технологические агрегаты многоцелевого назначения и их развитие // Вестник Белорусско-Российского университета. 2016. № 1. С. 78–86.
10. Пат. 151633 Российская Федерация, В 02С 19/22. Игольчатый измельчитель материалов / Севостьянов В.С., Сиваченко Т.Л., Ильина Т.Н., Сиваченко Л.А., Севостьянов М.В., Михайличенко С.А.; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова"; опубл. 10.04.2015, Бюл. №10.
11. Севостьянов В.С., Уральский В.И., Севостьянов М.В., Бабуков В.А., Мартаков И.Г. Малотоннажные технологические комплексы и оборудование (основы научных исследований – практическое руководство): учебное пособие / Белгород: Изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова, 2018. 450 с.

Информация об авторах

Севостьянов Владимир Семёнович, доктор технических наук, профессор кафедры «Технологические комплексы, машины и механизмы».

E-mail: sevostynov_00@mail.ru

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.

Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Сиваченко Татьяна Леонидовна, соискатель.

E-mail: tatsianamail.86@gmail.com

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.

Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Севостьянов Максим Владимирович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологические комплексы, машины и механизмы».

E-mail: msev31@mail.ru

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.

Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Горягин Павел Юрьевич, аспирант кафедры «Технологические комплексы, машины и механизмы».

E-mail: goryagin.py@bstu.ru

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.

Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Бабуков Владимир Александрович, ведущий инженер кафедры «Технологические комплексы, машины и механизмы».

E-mail: babukov-v@mail.ru.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.

Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила в феврале 2018 г.

© Севостьянов В.С., Сиваченко Т.Л., Севостьянов М.В., Горягин П.Ю., Бабуков В.А., 2018

V.S. Sevostyanov, T.L. Sivachenko, M.V. Sevostyanov, P.Y. Goryagin, V.A. Babukov
SCIENTIFIC AND PRACTICAL FOUNDATIONS OF THE CREATION OF MULTI-PURPOSE
NEEDLE-MILLING SHREDDERS

At present, the amounts of technogenic materials are constantly increasing. Therefore, the urgent tasks are the comprehensive processing and recycling of solid industrial and household wastes. In most cases, the process of grinding is one of the energy-intensive stages of technogenic materials processing. The possibility of manufacturing products from recycled wastes and the application area of secondary raw materials depend on the degree of grinding. Involving into technological use a large number of anisotropic and hard-processing materials requires the implementation of new types of shredders. One of them is needle-milling machines, the creation of which requires the development of both their designs and the calculation and designing methods which would take into account the physical-mechanical properties of the processed technogenic materials. For this purpose, a necessary set of studies was performed and their application was substantiated.

Keywords: *needle-milling shredder, anisotropic materials, mechanism of destruction, abrasion, working organ, adaptability, calculation technique, chain aggregate.*

REFERENCES

1. Comparison of different types of shredders // Mater. first conf. compared to different types of grinders. Part 1. Ed. Ovchinnikova PF, Odessa, OGMA, 1993. 130 p.

2. Sevostyanov V.S., Uralsky V.I., Sevostyanov M.V., Nosov O.A. Technological complexes and equipment for processing and utilization of technogenic materials // Belgorod: BSTU, 2015, 320 p.

3. Sivachenko L.A. Sharoykina E.A., Sevostyanov V.S., Sivachenko T.L. Questions of the development of technology and technology of grinding

materials // Energy-saving technological complexes and equipment for the production of building materials: intercollegiate collection of articles. Belgorod, BSTU, 2010, pp. 315-321.

4. Sevostyanov V.S., Sivachenko T.L., Mikhailichenko S.A. Technological apparatuses with needle-milling working organs for complex processing of composite materials // Bulletin of BSTU named after. V.G. Shukhov, 2015, no. 2, pp. 50–56.

5. Sevostyanov V.S., Sivachenko T.L. Needle milling cutters, their technological capabilities and ways of development // Bulletin of Belarusian-Russian University, 2016, no. 1, pp. 69–77.

6. Glagolev S.N., Gridchin A.M., Sevostyanov V.S., Mikhaylichenko S.A., Makridin A.A. The device for grinding fibrous materials. Patent RF, no. 2446015, 2012.

7. Glagolev S.N., Sevostyanov V.S., Sevostyanov M.V., Sivachenko L.A., Sivachenko T.L., Mikhaylichenko S.A., Makridin A.A., Manshin A.A. The device for grinding fibrous materials. Patent RF, no. 2540549, 2015.

8. Goryagin P.Yu., Ermilov R.A. Equipment and technologies for the processing of technogenic polymer materials // Youth and scientific and technological progress: Collection of reports X international scientific-practical conference of students, graduate students and young scientists. Vol. 3. Gubkin: OOO "Assistant Plus", 2017, pp. 83–86.

9. Sivachenko L.A., Rovsky A.M., Reutsky I.A. Chain technological units of multi-purpose use and their development // Bulletin of Belarusian-Russian University, 2016, no. 1, pp. 78–86.

10. Sevostyanov V.S., Sivachenko T.L., Ilin T.N., Sivachenko L.A., Sevostyanov M.V., Mikhaylichenko S.A. Needle shredder of materials. Patent RF, no. 151633, 2015.

11. Sevostyanov V.S., Ural'skiy V.I., Sevostyanov M.V., Babukov V.A., Martakov I.G. Small-tonnage technological complexes and equipment (the basis of scientific research - practical guidance): a tutorial. Belgorod: BSTU named after V.G. Shukhov, 2018, 450 p.

Information about the author

Vladimir S. Sevostyanov, PhD, Professor.

E-mail: sevostynov_00@mail.ru.

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov.
Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Tatyana L. Sivachenko, Applicant.

E-mail: tatsianamail.86@gmail.com.

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov.
Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Maxim V. Sevostyanov, Assistant professor.

E-mail: msev31@mail.ru.

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov.
Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Pavel Y. Goryagin, Postgraduate student.

E-mail: goryagin.py@bstu.ru.

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov.
Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Vladimir A. Babukov, Leading engineer/

E-mail: babukov-v@mail.ru.

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov.
Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received in February 2018

СТАТИСТИЧЕСКАЯ ЗНАЧИМОСТЬ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПРОЦЕССА С ПОМОЩЬЮ ИСКУССТВЕННОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ

anmakarof@yandex.ru

В результате проведенного исследования организации производственного процесса по созданию кровельных конструкций жилых многоэтажных зданий разработана искусственная нейронная сеть (ИНС), цель которой прогнозировать уровень производительности труда при заданных значениях организационных факторов. Одной из главных задач на пути к ней является обучение ИНС по прецедентам выборки, извлеченной из объекта исследования. Ввиду недостатка обучающих данных главной проблемой является определение условий статистической значимости прогнозов модели, обученной на выборке ограниченной длины. Данная статья посвящена решению указанной проблемы в рамках проведенного исследования. В работе использованы положения статистической теории обучения, использующие понятие размерности Вапника-Червоненкиса для описания сложности обучающего множества, а также подходы вероятностно-корректной в смысле аппроксимации модели обучения. Описаны технологии статистического бутстрэпа и бэггинга, позволяющие расширить имеющуюся обучающую выборку и увеличить точность прогнозирования. Обучение ИНС проводится с помощью компьютерного эксперимента с использованием языка программирования Python. Получена оценка границ теоретической длины обучающей выборки, необходимой для получения с помощью ИНС результатов внутри заданного доверительного интервала $\varepsilon=0,2$ с уровнем надежности 0,95. Извлеченная выборка преобразована на порядок, сопоставимый с теоретической нижней границей. Произведено обучение ИНС с определением средней квадратической ошибки (MSE) на контрольной выборке, которая составила $MSE=0,18$. В статье определены теоретические границы сложности обучающего множества необходимого для обеспечения заданного уровня статистической значимости. При обучении ИНС на выборке, порядок которой увеличен в соответствии с полученным теоретически, достигнута ошибка прогнозирования на контрольных данных внутри заданного доверительного интервала.

Ключевые слова: искусственная нейронная сеть, машинное обучение, организация производства, длина обучающей выборки, размерность Вапника-Червоненкиса, статистический бутстрэп, бэггинг.

Введение. В настоящее время вектор оптимизации управления производством заключается в разработке и внедрении компьютерных технологий, позволяющих автоматизировать организационные процессы и осуществляющих эффективную поддержку принятия решений. В связи с этим в большинстве прикладных наук особое место начинает занимать методология машинного

обучения, которая уже доказала свою универсальность в успешном решении разнообразных практических задач [1, 2]. Подход по созданию нового инструмента, аппроксимирующего реальный процесс, в рамках данной методологии укрупненно можно представить в виде четырех основных блоков, представленных на рисунке 1.

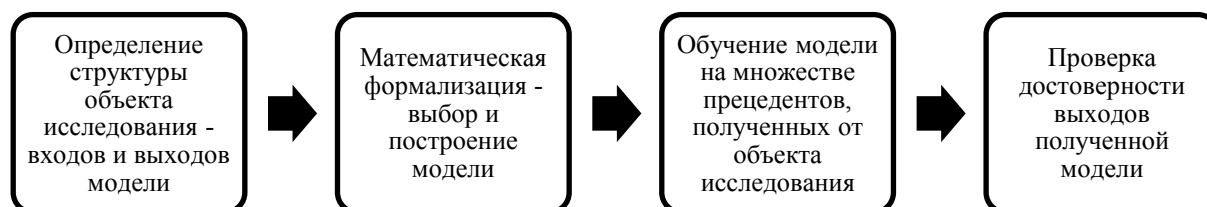


Рис. 1. Блок-схема разработки компьютерной модели, аппроксимирующей реальный процесс, с помощью подходов машинного обучения

Первый блок формируется с помощью научного наблюдения за объектом, экспертных опросов, а также его системного анализа, если объект не представляет собой «черный ящик». Выбор

математической модели важнейший этап исследования. Разработано и исследовано большое число разнообразных математических моделей,

таких как линейная, полиномиальная, логистическая регрессии, дискриминантный анализ, машина опорных векторов, искусственная нейронная сеть и другие. Каждая из которых имеет свои недостатки и преимущества в зависимости от процесса, на формализацию которого она направлена [3, 4]. Подбор математической модели, наиболее эффективно описывающей поведение реальной системы, сам по себе может являться целью исследования, для успешного завершения которого с каждой моделью нужно последовательно пройти последние три блока на рисунке 1. Третий блок включает в себя настройку модели под функционирование изучаемого объекта. Наиболее распространенный подход – это обучение «с учителем», заключающийся в корректировке свободных параметров математической модели на основе информации, полученной непосредственно от исследуемой системы. Данную информацию представляют в виде обучающей выборки L_{train} , состоящую из множества прецедентов ℓ_i ,

$$L_{train} = \{\ell_i\}_{i=1}^N = \{((x), Y)_i\}_{i=1}^N, \quad (1)$$

где $(x) = (x_1, x_2, \dots)$ – вектор значений входов модели; Y – отклик реальной системы при зафиксированном (x) ; i – номер прецедента; N – количество примеров в обучающей выборке или длина выборки.

Существуют различные технологии и алгоритмы обучения модели, которые в основном зависят от ее математической формализации, а также от способа измерения входов и выходов модели.

В рамках диссертационного исследования, посвященного разработке методики оптимальной организации производственного процесса по строительству кровельных конструкций жилых многоквартирных зданий, автор статьи прошел первые три блока, определив с помощью системного анализа и экспертных опросов структуру исследуемого объекта [5], выполнив математическую интерпретацию его функционирования с помощью искусственной нейронной сети [6], а также определив алгоритм и порядок обучения модели с помощью метода обратного распространения ошибки [7]. В данной статье приведены результаты определения условий и принципов качественного обучения созданной модели. Это завершающий этап создания компьютерной модели объекта исследования, определяющий перспективы ее практического применения в выбранной проблемной области.

Достоверность получаемых с помощью созданной модели результатов зависит от трех основных факторов. Первый фактор – это сама разработанная математическая модель. Так как невозможно идеально аппроксимировать реальный процесс с помощью математического закона, гибкость выбранной модели играет большую роль в точности предсказания. Вторым фактором выступает процесс обучения, а именно, выбранный алгоритм, а также контроль переобучения, использование дополнительных механизмов и технологий, увеличивающих скорость и качество обучения. И последний и самый значимый фактор – это состав и длина обучающей выборки. Если первые два фактора исследователь может изменять, то обучающая выборка есть априорная информация о системе, которая принимается им как данность. При этом в большинстве практических задач отсутствуют готовые данные об исследуемом объекте, и выборку приходится извлекать вновь, что всегда является трудоемким процессом, требующим больших затрат времени и финансов. Поэтому актуальными являются определение необходимой и достаточной сложности обучающего множества для получения результатов с заданным уровнем доверия, а также проблема обучения модели на выборках, ограниченной длины.

Модель исследования. Системообразующим фактором организационного процесса по строительному производству кровельных конструкций в настоящем исследовании выступает производительность труда. В результате системного анализа исследуемого объекта выделены основные параметры: Cs – строительный контроль, Csr – строительная бригада, $P\&T$ – производственно-технические ресурсы. С помощью морфологического анализа данные параметры разбиты на элементарные организационные факторы следующим образом: Cs (X_1 – мастер, X_2 – прораб, X_3 – инженер строительного контроля, X_4 – начальник участка), Csr (X_5 – квалификация рабочих, X_6 – опыт работы, X_7 – трудовая дисциплина), $P\&T$ (X_8 – машины, инструменты и инвентарь X_9 – производственно-технический отдел, X_{10} – компьютеризация строительного участка).

Математической моделью объекта исследования выступает искусственная нейронная сеть (ИНС) прямого распространения сигнала с одним скрытым слоем нейронов и единственным выходом, архитектура, которой показана на рисунке 2.

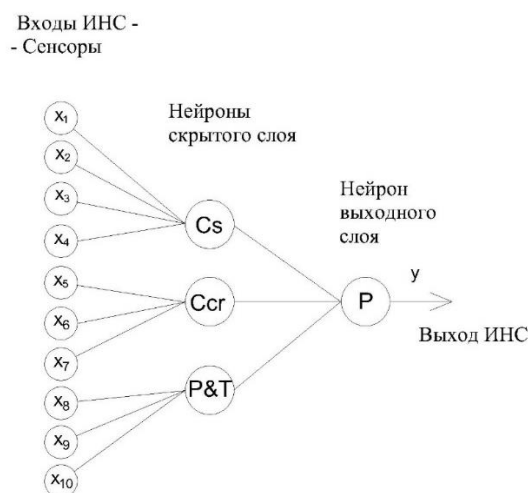


Рис. 2. Архитектура ИНС

Входы ИНС $(x) = (x_1, \dots, x_{10})$ – вектор значений организационных факторов производственного процесса, измеренных с помощью теории нечетких множеств [8]. Выход модели y – сменная производительность процесса, взятая относительно нормативного значения, полученного из государственных сметных нормативных документов. Функционирование нейронов соответствует классической схеме работы искусственного нейрона МакКаллока-Питтса [9]. Функцией активации φ нейронов является логистическая функция

$$\varphi = \frac{d}{1 + \exp(4 - 8v)}, \quad (2)$$

где v – индуцированное локальное поле нейрона (сигнал на выходе из сумматора нейрона); d – константа, определяющая область значений функции. Для скрытого слоя $d = 1$, для выходного нейрона P $d = 1,3$, что связано с подходом к измерению выхода модели, учитывающего возможность перевыполнения нормативного значения производительности.

Обучение ИНС производится по методологии «с учителем» с помощью классического алгоритма обратного распространения ошибки [10]. Обучение происходит по выборке типа (1), извлеченной автором статьи в результате научного наблюдения за реальным производственным процессом, исполняя обязанности инженера строительного контроля в компании, осуществляющей строительство. Обучающая выборка репрезентативна и содержит $N = 852$ прецедента.

Определение достаточной длины обучающей выборки. Обучение ИНС можно представить, как поиск такой функции $\hat{f}(x, w)$ в пространстве всех возможных функций Ω , которая аппроксимирует работу реальной системы f с

допустимым отклонением (ошибкой) ε и достаточной степенью надежности. В фокусе статистической теории обучения [11] задача состоит в минимизации по свободному параметру W функционала среднего риска, который служит оценкой доверительного интервала ε

$$R(w) = \int E(x, y, w) P(x, y) dy, \quad (3)$$

где W – свободные параметры модели (весовые коэффициенты связей ИНС); $E(x, y, w)$ – функция потерь, описывающая ошибку модели; $P(x, y)$ – совместное распределение вероятностей параметров реальной системы, соответствующих входам x и выходу y модели.

В связи с тем, что восстановление плотности распределения вероятностей по выборке трудоемкая задача, большинство алгоритмов обучения ИНС по прецедентам, в частности алгоритм обратного распространения ошибки, направлены на минимизацию эмпирического риска

$$R_{emp}(w) = \frac{1}{N} \sum_N E(x, y, w). \quad (4)$$

Так как длина обучающей выборки N в основном ограничена, то главный вопрос состоит в том, насколько хорошо полученная на опытных данных функция $F_{emp}(x, w)$ минимизирует функционал фактического риска (3), другими словами, насколько ошибка сети на обучающей выборке L_{train}

$$\tilde{\varepsilon} = f - \hat{f}(x, w) = Y - y \quad (5)$$

будет отличаться от ошибки $\tilde{\varepsilon}$ на контрольной выборке L_{test} , состоящей из прецедентов, не задействованных в процессе обучения модели и, следовательно, ей незнакомых. Решение данной задачи связано с определением условий сходимости эмпирических средних к математическим ожиданиям [12], которая имеет вид

$$P\{\sup | R_{emp}(w) - R(w) | > \varepsilon\} < \delta, \quad (6)$$

где δ – уровень значимости.

В ходе анализа условий сходимости (6) на выборках конечной длины N и обобщения теоремы Гливленко для задачи распознавания образов советские ученые В. Вапник и А. Червоненкис ввели понятие емкости h множества функций Ω , которое в мировой литературе принято называть размерностью Вапника-Червоненкиса (VC-dimension) [13]. С помощью данного параметра

были определены допустимые условия равномерной сходимости через длину выборки $N \succ h$, из которых можно выделить выражение для оценки доверительного интервала

$$R(w) \leq R_{emp}(w) + \frac{B\varepsilon_0}{2} \left(1 + \sqrt{1 + \frac{4R_{emp}(w)}{B\varepsilon_0}}\right), \quad (7)$$

где B – верхняя граница функции потерь $E(x, y, w)$, зависящая от области значений выхода ИНС,

$$\varepsilon_0 = 4 \frac{h(\ln \frac{2N}{h} + 1) - \ln \delta}{N}. \quad (8)$$

Так как в основном, $R_{emp}(w) \ll 1$ из выражения (7) можно заключить что доверительный интервал ε соответствует среднему риску $R(w)$ и зависит от размерности Вапника-Червоненкиса и сложности обучающего множества N (длины выборки), при условии $N \succ h$.

Для нейронных сетей с сигмоидальной функцией активации установлены границы VC -dimension [14, 15], имеющие следующие порядки

$$\inf h = W^2, \sup h = W^4, \quad (9)$$

где W – количество свободных параметров сети, то есть весовых коэффициентов связей W .

В созданной ИНС количество связей $W=13$, тогда размерность Вапника-Червоненкиса согласно (9) имеет границы порядка $\inf h = 169, \sup h = 28561$. Область значений функции активации выходного нейрона (0;1,3), тогда $B=1,3$, а также примем эмпирический риск $R_{emp}(w) = 0,05$, который в большинстве моделей соответствует средней квадратической ошибке (MSE_{train}) модели на обучающей выборке L_{train} . Тогда согласно (7) и (8) для достижения достоверности прогнозирования данной ИНС в пределах доверительного интервала $\varepsilon = 0,2$ с надежностью $1 - \delta = 0,95$ ее необходимо обучить на выборке, длина которой имеет следующие границы

$$\inf N = 42000, \sup N = 7 \times 10^6. \quad (10)$$

Верхняя граница длины выборки не является обязательным условием для успешного обучения, что подтверждается многими практическими исследованиями [16]. При подготовке к обучению ИНС необходимо обеспечить соответствие обучающей выборки L_{train} нижней границе, как минимально необходимой для обеспечения уровня достоверности модели.

Расширение обучающей выборки. Извлеченная в рамках исследования обучающая выборка имеет длину $N=852$, которая не сопоставима с теоретическими границами (10). Самостоятельное извлечение выборки для достижения порядка сложности (10) может занять несколько лет, что лишает исследование практической рентабельности. Для решения данной проблемы применим технологию статистический бутстрэп (statistical bootstrapping) [17], заключающуюся в расширении объема обучающего множества за счет создания бутстрэп-выборки L_B . Формирование бутстрэп-выборки происходит путем последовательного проведения двух операций: случайный отбор прецедента ℓ_i из выборки L_{train} и добавление его в выборку L_B . При этом добавление происходит с повторением, например, если произошел повторный выбор прецедента ℓ_{17} в результате операции случайного отбора на третьем шаге формирования выборки, данный прецедент вновь добавляется в L_B , которая в данном примере примет вид

$$L_B = \{\ell_{17}, \ell_5, \ell_{17}\}. \quad (11)$$

Таким образом на основании данного подхода мы можем получать выборку произвольной длины N . Но обучение ИНС с помощью алгоритма, основанного на градиентом спуска, на бутстрэп-выборке L_B , размер которой сопоставим с нижней границей (10), может привести к возникновению эффекта переобучения, так как она получена из одного вероятностного распределения выборки L_{train} , длина которой в пятьдесят раз меньше. Поэтому для повышения качества обучения ИНС применим технологию бэггинг (bagging или bootstrap aggregating).

Данный подход состоит в обучении модели отдельно на нескольких бутстрэп-выборках и дальнейшего усреднения полученных выходов. Размер каждой бутстрэп-выборки L_B зададим равной размеру исходной выборки L_{train} , что обосновано практической реализацией данного подхода [18]. В соответствии с данной методикой обучение ИНС разбивается на обучение n моделей на разных бутстрэп-выборках L_{Bn} , соответственно.

Таким образом, для удовлетворения условия (10) потребуется создать не менее 50 бутстрэп-выборок. Окончательное количество бутстрэп-выборок, участвующих в обучении модели, зависит от сходимости ИНС на контрольных данных и определяется непосредственно в процессе обучения модели. Под сходимостью ИНС подразуме-

межается процесс достижения средней квадратической ошибки (MSE_{test}) модели на контрольной выборке L_{test} заданного значения доверительного предела ε .

Обучение ИНС. Для обучения ИНС был проведен компьютерный эксперимент с помощью разработанной программы [19], интерпретирующей функционирование и алгоритм обучения ИНС на языке программирования Python. Обучение проводилось в несколько циклов. Один цикл включал в себя создание бутстрэп-выборки L_{B1} согласно подходу, описанному в предыдущем разделе, обучение модели на L_{B1} до достижения сходимости ИНС на обучающих данных, то есть до получения MSE_{train1} за последнюю эпоху обучения, сопоставимой с заданным значением эмпирического риска $R_{emp}(w) = 0,05$. За эпоху обучения принят один полный проход всех примеров бутстрэп-выборки L_{B1} через алгоритм обучения. Затем вычислялась MSE_{test1} на контрольной выборке L_{test} . При расчете MSE_{test} на каждом последующем цикле за выход ИНС Y принималось среднее значение выходов моделей y_n по всем пройденным циклам. Результаты обучения отражены на рисунке 3.

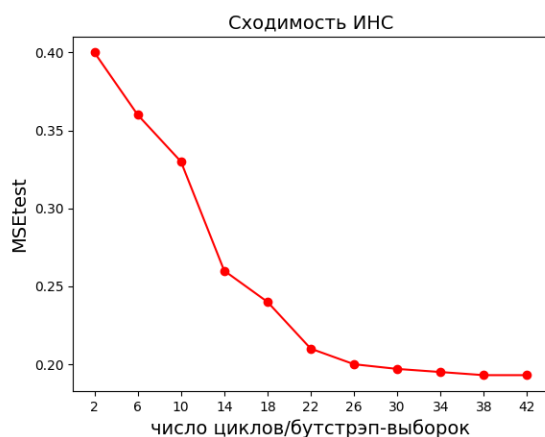


Рис.3. Сходимость ИНС на контрольной выборке

По графику на рис. 3 прослеживается явная сходимость ИНС на контрольной выборке, что свидетельствует об успешной реализации обучения модели. Ошибка на контрольной выборке MSE_{test} соответствующая доверительному пределу $\varepsilon = 0,2$ достигнута на 26 цикле, в котором сложность обучающего множества составила 26 бутстрэп-выборок, что соответствует 22152 обучающих прецедентов. Данное количество меньше нижней границы, установленной с помощью размерности Вапника-Червоненкиса, но дальнейшее увеличение точности происходит

намного медленнее, так при увеличении обучающей выборки до $N = 35784$ MSE_{test} составила 0,193.

Выводы. В статье представлен подход определения достаточной длины обучающей выборки для получения с помощью искусственной нейронной сети прогнозируемых значений относительной производительности труда с заданным уровнем доверия. Решена проблема обучения на выборках ограниченной длины. Получено практическое подтверждение выполненного исследования с помощью проведения компьютерного эксперимента, состоящего в обучении созданной ИНС на выборке, извлеченной из исследуемого объекта.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Khademi F., Jamal S.M., Deshpande N., Londhe S. Predicting strength of recycled aggregate concrete using Artificial Neural Network, Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System and Multiple Linear Regression // International Journal of Sustainable Built Environment. 2016. Vol. 5. Pp. 355–369.
2. Lee S., Choi W.S. A multi-industry bankruptcy prediction model using back-propagation neural network and multivariate discriminant analysis // Expert Systems with Applications. 2013. Vol. 40. № 8. Pp. 2941–2946.
3. Roy S.S., Roy R., Balas V.E. Estimating heating load in buildings using multivariate adaptive regression splines, extreme learning machine, a hybrid model of MARS and ELM // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2018. Vol. 82. № 3. Pp. 4256–4268.
4. Mayfield H., Smith C., Gallagher M., Hockings M. Use of freely available datasets and machine learning methods in predicting deforestation // Environmental Modelling & Software. 2017. Vol. 87. Pp. 17–28.
5. Lapidus A., Makarov A. Model for the potential manufacture of roof structures for residential multi-storey buildings // Procedia Engineering. 2016. № 153. Pp. 378–383.
6. Макаров А.Н. Искусственная нейронная сеть для организации и управления строительным процессом // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2017. №4. С. 117–122.
7. Lapidus A., Makarov A. Automation of Roof Construction Management by Means Artificial Neural Network // Advances in Intelligent Systems and Computing. 2017. Vol. 692. EMMFT 2017. Pp. 1168–1176.
8. Лапидус А.А., Макаров А.Н. Нечеткая модель организации строительного процесса // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2017. Том 7. №1(20). С. 59–68.

9. McCulloch W.S., Pitts W. A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity // Bull. Math. Biophys. 1943. Vol. 5. Pp.115-133.

10. Rumelhart D.E., Geoffrey E. Hinton, Ronald J. Williams. Learning representations by back-propagating errors // Nature. 1986. Vol. 323. Pp. 533–536.

11. Vapnik V.N. An overview of statistical learning theory // IEEE Transactions on neural networks. 1999. Vol. 10. № 5. Pp. 988–999.

12. Вапник В.Н., Червоненкис А.Я. Теория равномерной сходимости частот появления событий к их вероятностям и задачи поиска оптимального решения по эмпирическим данным // Автоматика и телемеханика. 1971. № 2. С. 42–53.

13. Вапник В.Н., Червоненкис А.Я. Теория распознавания образов (статистические проблемы обучения). М.: Наука, 1974. 416 с.

14. Pascal Koiran, Eduardo D. Sontag. Neural networks with quadratic VC dimension // Journal of

computer and system sciences. 1997. Vol. 54. Pp. 190–198.

15. Michael Schmitt. Lower bounds on the complexity of approximating continuous functions by sigmoidal neural networks // NIPS 1999 Proceeding. 1999. Pp. 328–334.

16. Sally Floyd, Manfred Warmuth. Sample compression, learnability, and the Vapnik-Chervonenkis dimension // Machine Learning. 1995. Vol. 21. Pp. 269–304.

17. Efron B. Bootstrap Methods: Another Look at the Jackknife // The Annals of Statistics. 1979. Vol. 7. № 1. Pp. 1–26.

18. Breiman L. Bagging predictors // Machine Learning. 1996. Vol. 24. Pp. 123–140.

19. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2017662846 от 17.11.2017. Искусственная нейронная сеть для оценки и прогнозирования строительства кровельных конструкций / А.А. Лапидус, А.Н. Макаров; заявитель и правообладатель НИУ МГСУ

Информация об авторах

Макаров Александр Николаевич, аспирант кафедры «Технология и организация строительного производства». E-mail: anmakarof@yandex.ru

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет. 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26

Поступила в февраль 2018 г.

© Макаров А.Н., 2018

A.N. Makarov

STATISTICAL SIGNIFICANCE OF PREDICTING THE PRODUCTION PROCESS RESULTS BY MEANS OF AN ARTIFICIAL NEURAL NETWORK

As a result of the research of production process organization for the roof construction of residential multi-storey buildings, an artificial neural network (ANN) was designed, the purpose of which is to predict the labor productivity based on organizational factors. One of the main tasks on the way to this purpose is the training of ANN on precedents of the sample extracted from the research object. In view of the deficiency of training data, the main problem is to determine the conditions for the statistical significance of the predictions of the model trained on limited sample. This article is devoted to solving this problem within the research of production organization. The paper uses the provisions of the statistical learning theory, the notion of the Vapnik-Chervonenkis dimension for describing the sample complexity, and also the approaches of probably approximately correct learning (PAC-learning). The technologies of statistical bootstrapping and bagging are described, which allow expanding the training sample. ANN training is conducted using a computer experiment on the programming language Python. The bounds of the theoretical sample complexity, which is necessary for obtaining of ANN results within a given confidence interval $\varepsilon = 0,2$ with a confidence level of 0,95, were estimated. The sample was transformed by an order comparable to the theoretical lower bound. ANN was trained and the mean square error (MSE) in the test sample was defined, which amounted to $MSE = 0,185$. The theoretical bounds of the sample complexity to ensure a given statistical significance are determined in the article. After the ANN training on the sample, the order of which corresponds to theoretical lower bound, a prediction error was obtained on the test sample within the given confidence interval.

Keywords: artificial neural network (ANN), machine learning, organization of production, training sample size, VC-dimension, statistical bootstrapping, bagging.

REFERENCES

1. Khademi F., Jamal S.M., Deshpande N., Londhe S. Predicting strength of recycled aggregate concrete using Artificial Neural Network, Adaptive

Neuro-Fuzzy Inference System and Multiple Linear Regression // International Journal of Sustainable Built Environment, 2016, vol. 5, pp. 355–369.

2. Lee S., Choi W.S. A multi-industry bankruptcy prediction model using back-propagation neural network and multivariate discriminant analysis // *Expert Systems with Applications*, 2013, vol. 40, no. 8, pp. 2941–2946.
3. Roy S.S., Roy R., Balas V.E. Estimating heating load in buildings using multivariate adaptive regression splines, extreme learning machine, a hybrid model of MARS and ELM // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2018, vol. 82, no. 3, pp. 4256–4268.
4. Mayfield H., Smith C., Gallagher M., Hockings M. Use of freely available datasets and machine learning methods in predicting deforestation // *Environmental Modelling & Software*, 2017, vol. 87, pp. 17–28.
5. Lapidus A., Makarov A. Model for the potential manufacture of roof structures for residential multi-storey buildings // *Procedia Engineering*, 2016, no. 153, pp. 378–383.
6. Makarov A.N. Artificial neural network for organization and management of construction process // *Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov*, 2017, no. 4, pp. 117–122.
7. Lapidus A., Makarov A. Automation of Roof Construction Management by Means Artificial Neural Network // *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 2017, vol. 692, EMMFT 2017, pp. 1168–1176.
8. Lapidus A.A., Makarov A.N. Fuzzy model of organization of construction process // *Proceedings of universities. Investments. Construction. Real estate*, 2017, vol. 7, no. 1(20), pp. 59–68.
9. McCulloch W.S., Pitts W. A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity // *Bull. Math. Biophys.*, 1943, vol. 5, pp. 115–133.
10. Rumelhart D.E., Geoffrey E. Hinton, Ronald J. Williams. Learning representations by back-propagating errors // *Nature*, 1986, vol. 323, pp. 533–536.
11. Vapnik V.N. An overview of statistical learning theory // *IEEE Transactions on neural networks*, 1999, vol. 10, no. 5, pp. 988–999.
12. Vapnik V.N., Chervonenkis A.Ya. Theory of uniform convergence of frequency of appearance of attributes to their probabilities and problems of defining optimal solution by empiric data // *Automation and Remote Control*, 1971, no. 2, pp. 42–53.

Information about the author

Alexander N. Makarov, postgraduate student.

E-mail: anmakarov@yandex.ru

Moscow State University of Civil Engineering (National Research University).

Russian Federation, 129337, Moscow, Yaroslavskoe shosse, 26.

Received in February 2018

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ

DOI: 10.12737/article_5abfca7de0d380.20828863

¹Парфенова Е.Н., канд. экон. наук, доц.,²Авилова Ж.Н., канд. соц. наук, доц.¹Белгородский государственный национальный исследовательский университет²Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

К ВОПРОСУ О ПОВЫШЕНИИ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЙ МАШИНОСТРОЕНИЯ

parfenova@bsu.edu.ru

В нынешних условиях экономики отношения между компаниями, которые создают разнообразные продукты машиностроения, можно охарактеризовать как неустойчивые и неопределенные. В этой связи, чтобы быстро реагировать на разнообразные изменения, происходящие на рынке, необходимо создать условия для управления конкурентоспособностью компании. Имеющиеся конкурентные преимущества и будут определять конкурентоспособность предприятия.

Ключевые слова: конкурентоспособность, машиностроение, промышленность, рынок, эффективность, потенциал.

Введение. Для экономики в долгосрочной перспективе важным является развитие предприятий машиностроительной отрасли. В промышленности машины и оборудования занимают большую долю. Около 20 % в структуре обрабатывающей промышленности в Российской Федерации занимают эти предприятия. Кроме того, эти предприятия обеспечивают во всем народном хозяйстве техническую оснащенность производственных процессов [1, с.120].

Методология. Основанием для исследования проблемы повышения конкурентоспособности предприятий машиностроения послужили фундаментальные труды классиков научной мысли по широкому спектру проблем, а также современные работы зарубежных и отечественных ученых по вопросам методологии и методике формирования конкурентных преимуществ предприятий монополистической сферы.

В процессе исследования были использованы диалектический метод, предопределяющий изучение явлений в их постоянном развитии и взаимосвязи. В работе применялись также методы ситуационного, структурно-функционального, экономико-статистического, компаративного анализа, табличная и графическая интерпретация эмпирико-фактологической информации.

Основная часть. На сегодняшний день существует большое количество факторов, дающих возможность получить конкурентное превосходство, но, тем не менее, их можно объединить в следующие группы:

- конкурентоспособность товара;
- доля рынка;
- удовлетворенность потребителя;

- эффективность производственного процесса.

Кроме того, необходимо учитывать дополнительные факторы, которые также будут влиять на конкурентоспособность.

Во-первых, машиностроительная промышленность характеризуется типом монополистической конкуренции [2, с. 126]. Здесь характеристики потребительской продукции, такие как цена и качество, не преобладают при определении конкурентоспособности компании. Во-вторых, процессы, происходящие в деятельности машиностроительных компаний, характеризуются множественностью, поскольку они происходят как внутри самой компании между отделами и цехами, так и за ее пределами с другими участниками рынка. И в-третьих, развитие компании на рынке может осуществляться в двух направлениях, дифференцируя свою продукцию, то есть, расширяя производство или интенсивно наращивая производство, за счет внедрения инновационных продуктов, которые обеспечат компании деловой имидж. Из этого следует, что эти факторы можно отнести к критериям, которые покажут количественное и качественное преимущество компании перед ее конкурентами в машиностроении и будут проявляться в производстве необходимого количества продуктов, соответствующих требованиям потребителей по качественным и стоимостным характеристикам, то есть более полно релевантно для рынка.

Такое превосходство над конкурентами может быть достигнуто только при интенсификации всей деятельности компании и, кроме того, должно соответствовать стратегическим целям и

требованиям эффективности. В то же время эффективность комплекса машиностроения является одним из основных параметров для определения уровня конкурентоспособности, поскольку она тесно связана со спросом. Так показатель эффективности включает в себя выгоду компании, которая формируется за счет выручки, а общий оборот точно определяет уровень спроса на продукцию, продаваемую машиностроительной компанией.

На сегодняшний день компании в машиностроительном комплексе имеют низкую эффективность использования активов и, как следствие, низкую эффективность использования собственного капитала и заемного капитала.

Кроме того, доля затрат на сырье и материалы в себестоимости продукции составляет до 85 %, поэтому производство на этих предприятиях относится к материалоемким. Это можно объяснить сложностью производимой продукции. Однако продолжительность производственного цикла связана с определенными рисками, которые указывают на экономическую ситуацию и нестабильность рынка.

Эффективность использования активов в машиностроительных компаниях очень низкая. Так на конец 2016 года рентабельность компаний, производящих электрическое, электронное и оптическое оборудование, составила 2,37 %, а для компаний, выпускавших оборудование и транспортные средства, – 0,48 %. Если рассматривать этот показатель по другим отраслям, то он значительно выше. Поэтому увеличение эффективности использования активов для компаний в машиностроительном комплексе является самой важной задачей для обеспечения развития всей отрасли.

Для того, чтобы определить уровень использования ресурсов используется оценочный критерий – потенциал. Под потенциалом в научной школе понимаются такие ресурсы (возможности), которые имеются у предприятия. Этими ресурсами можно будет воспользоваться всякий раз, когда наступит какое-либо событие или предприятие будет совершать какие-либо действия. Но этот критерий не отражает системность функционирования предприятия. Поэтому необходимо рассматривать процессы управления этими ресурсами, которые позволят им эффективно взаимодействовать [4, с.128].

Таким образом, учитывая тот факт, что при переходе к рыночной экономике изменилась модель экономической системы хозяйствования, в результате чего произошло увеличение количества факторов, которые будут влиять на потенциал предприятия. Учитывая результаты проведенного исследования, можно сгруппировать все

факторы, которые будут определять состав и структуру потенциала машиностроительного предприятия:

1) материальные (ресурсные) составляющие потенциала;

2) функциональные составляющие потенциала, отражающие разделение предприятия на отдельные подразделения, которые выполняют разные функции;

3) организационные составляющие потенциала, отражающие конкретное организационное построение предприятия и взаимодействующие механизмы всех функциональных подразделений [4, с.129].

При этом, в рыночных условиях функционирования предприятия невозможно отслеживать процессы, которые будут осуществляться внутри его, необходимо учитывать влияние внешних факторов, связанных с конкурентными процессами, происходящими в отрасли, регионе и стране в целом.

Учитывая этот факт, неправомерным является исследование только совокупность потенциала предприятия без учета влияния внешних факторов на машиностроительное предприятие [5, с.77]. Важные факторы, которые влияют на процесс формирования условий, обеспечивающих необходимый уровень конкурентных преимуществ, находятся в партнерской среде.

В настоящее время связи между субъектами рынка представляют собой очень многогранный процесс, который характеризует приспособление деятельности каждого участника рынка к интеграционным процессам [9]. В результате такого тесного взаимодействия формируется инфраструктура, которая меняет предпринимательскую среду и увеличивает ее географические владения. Единство процессов производства, реализации и потребления, которые происходят одновременно у разных участников рынка, являются специфическим выражением удовлетворения потребности от взаимосвязи этих субъектов с рынком.

Предприятие, вступая в контакт с внешней средой, получает информацию о происходящих событиях на конкретном рынке и составляет необходимый алгоритм действий по реализации принятого решения о взаимодействии. Партнерами производителя выступают постоянные потребители его продукции, которые заинтересованы в развитии предприятия, его платежеспособности и дальнейшей деятельности в определенной сфере предпринимательства. Поэтому на промышленном рынке B2B потребители-производители взаимодействуют с менеджерами партнера [10, 11].

Учитывая вышеизложенное, можно представить структуру конкурентного потенциала, отражающего взаимодействие всех факторов внут-

ренней и внешней среды, а также влияние партнерской среды на внутренние процессы предприятия (рис. 1).

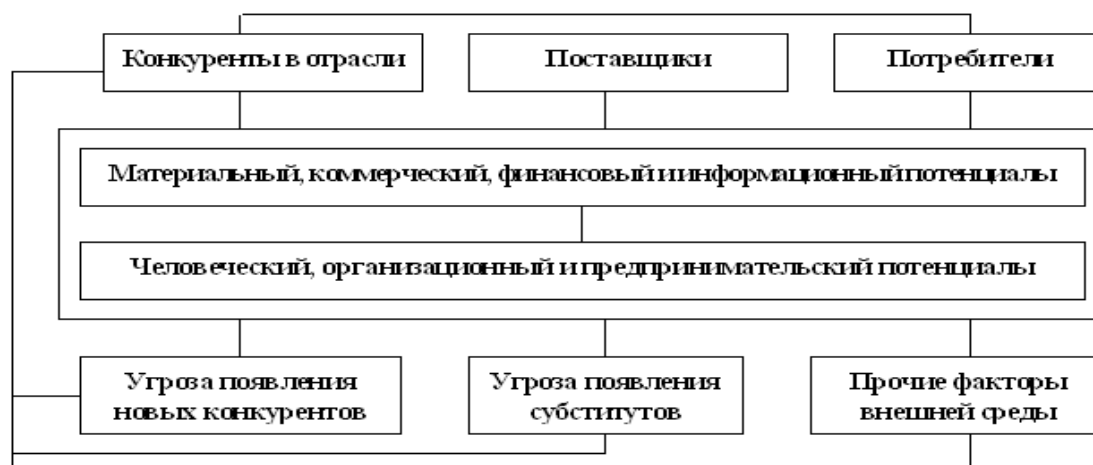


Рис. 1. Структура конкурентного потенциала предприятия

Выводы. Полноценность отношений на деловом рынке формируется в процессе взаимодействий между участниками рынка и основывается на ценности продукции, сервисном обслуживании и выгодном сотрудничестве. По этой причине можно предположить, что если взаимодействие и общение является ценным и выгодным, то взаимодействующие стороны будут очень стремиться улучшать качество своего сотрудничества и развивать долгосрочные отношения. Стремление предприятия к поддержанию хороших отношений с клиентами будет способствовать улучшению технических и потребительских характеристик выпускаемой продукции, и, как результат, повысит конкурентоспособность самого машиностроительного предприятия. Для выявления степени удовлетворенности клиентов отношениями со своими бизнес-партнерами машиностроительному предприятию необходимо проводить маркетинговые исследования по разным аспектам сотрудничества. Это поможет в дальнейшем снизить недовольство клиентов и повысить межфирменные партнерские отношения, а, в конечном счете, получить превосходство над конкурентами [6, с.177].

Таким образом, можно сделать вывод о том, что политика формирования межфирменных связей, которые представляют собой основу делового партнерства, является одним из элементов стратегии предприятия и выступает в качестве фундамента успешной конкурентной борьбы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Аренков И.А., Салихова И.А., Гаврилова М.А. Конкурентный потенциал предприятия: модель и стратегия развития // Проблемы современной экономики. 2011. № 4. С. 120–125.

2. Боткин О.И., Гребёнкин И.В. Формирование конкурентного потенциала машиностроительного комплекса региона // Экономика региона. 2014. № 1. С. 125–132.

3. Ламбен Ж.-Ж., Чумпитас Р., Шулинг И. Менеджмент, ориентированный на рынок. СПб.: Питер, 2011. 720 с.

4. Романова О.С. Концепция формирования конкурентного потенциала предприятия // Современная конкуренция. 2007. № 6. С. 127–135.

5. Фасхиев Х.А. Определение конкурентоспособности предприятия // Маркетинг в России и за рубежом. 2009. № 4 (72). С. 75–83.

6. Фатхутдинов Р.А. Управление конкурентоспособностью организации. М.: Маркет ДС, 2008. 208 с.

7. Дорошенко Ю.А., Климашевская А.А. Технологическая модернизация предприятий: барьеры, критерии принятия решения и механизм реализации // Белгородский экономический вестник. 2015. № 2 (78). С. 20–27.

8. Прядко С.Н., Жданкова Е.А. Установление стратегических приоритетов в планировании долгосрочного развития региональных предприятий // Фундаментальные исследования. 2016. № 6-2. С. 454–459.

9. Avilova Z.N., Gulei I.A., Shavyrina I.V. Formation of the customer-centric organizational culture of the university as a factor of effective social and economic development of the region // Mediterranean Journal of Social Sciences. 2015. Т. 6. № 3. С. 207–216.

10. Ломовцева О.А., Герасименко О.А. Приоритеты и механизмы ГЧП в формировании инновационного промышленного комплекса региона // Научные ведомости Белгородского

государственного университета. Серия: Экономика. Информатика. 2015. №13(210). Вып.35/1. С. 5–9.

11.Дорошенко Ю.А., Малыхина И.О. Важнейшие технологии развития инвестиционно-инновационной деятельности регионов России // Белгородский экономический вестник. 2016. № 2 (82). С. 21–26.

Информация об авторах

Парфенова Елена Николаевна, кандидат экономических наук, доцент кафедры менеджмента и маркетинга.

E-mail: parfenova@bsu.edu.ru

Белгородский государственный национальный исследовательский университет.

Россия, 308015, Белгород, ул. Победы, д. 85.

Авилова Жанна Николаевна, кандидат социологических наук, доцент кафедры социологии и управления.

E-mail: janna-avilova@mail.ru

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.

Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, 46.

Поступила в декабре 2017 г.

© Парфенова Е.Н., Авилова Ж.Н., 2018

E.N. Parfenova, Z.N.Avilova

TO THE QUESTION OF INCREASING THE COMPETITIVENESS OF MACHINE-BUILDING ENTERPRISES

The article proves the relevance of the research into the problem of increasing the competitiveness of machine-building enterprises; the factors which make it possible to obtain competitive superiority, as well as determining the composition and structure of the potential of a machine-building enterprise, are analyzed; the characteristic of the machine-building industry from the point of view of monopolistic competition is given; the main problems of the inter-firm relations formation policy as the basis of business partnership are considered.

Keywords: competitiveness, machine-building, industry, market, efficiency, potential.

REFERENCES

1. Arenkov I.A., Salikhova I.A., Gavrilova M.A. Competitive potential of the enterprise: model and development strategy // Problems of modern economy, 2008, no.4, pp. 120–125.
2. Botkin OI, Grebyonkin I.V. Formation of the competitive potential of the machine-building complex of the region // Economy of the region, 2014, no.1, pp. 125–132.
3. Lamben J.-J., Chumpitas R., Schuling I. Market-oriented management, St.Petersburg, Piter Publ., 2011, 720 p.
4. Romanova OS The Concept of Forming the Competitive. Potential of the Enterprise. Contemporary Competition, 2007, no.11, pp. 54–57.
5. Faskhiev H.A. Determination of enterprise competitiveness // Marketing in Russia and Abroad, 2009, no.4, pp. 75–83.
6. Fatkhutdinov R.A. Management of competitiveness of the organization] Moscow, Market DC Publ., 2008, 208 p.
7. Doroshenko Yu.A., Klimashevskaya A.A. Technological modernization of enterprises: barriers,

criteria for decision-making and implementation mechanism // Belgorod economic bulletin, 2015, no. 2, pp. 20–27.

8. Pryadko S.N., Zhdankova E.A. Establishment of strategic priorities in planning long-term development of regional enterprises // Basic research, 2016, no. 6-2, pp. 454–59. (

9. Avilova Z.N., Gulei I.A., Shavyrina I.V. Formation of the customer-centric organizational culture of the university as a factor of effective social and economic development of the region. // Mediterranean Journal of Social Sciences, 2015, no.3, pp. 207–216.

10. Lomovtseva O.A., Gerasimenko O.A. Priorities and mechanisms of PPP in the formation of an innovation-intensive industrial complex in the region // Scientific bulletins of the Belgorod State University. Series: The Economy. Computer science. 2015, no.13, pp. 5–9.

11. Doroshenko YU.A., Malykhina I.O. The most important technologies for the development of investment and innovation activities in the regions of Russia // Belgorod economic herald, 2016, no. 2, pp. 21–26.

Information about the author

Elena N. Parfenova, PhD, Assistant professor.

E-mail: parfenova@bsu.edu.ru

Belgorod National Research University.

Russia, 308015, Belgorod, Pobeda st., 85.

Zhanna N. Avilova, PhD, Assistant professor.

E-mail: janna-avilova@mail.ru

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov.

Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received in December 2017

*Князева Е.С., преподаватель**Национальный Исследовательский Московский государственный строительный университет*

ПРИВЛЕЧЕНИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИНВЕСТИЦИЙ В ОРГАНИЗАЦИЮ СТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

knyaz-2003@ya.ru

В настоящее время во всем мире наблюдается тенденция совершенствования эффективности механизмов привлечения и использования инвестиций в организацию строительного производства. Эта проблема, также является важным условием развития всей строительной отрасли Российской Федерации. Данные, которые предоставляет Росстат, свидетельствуют, что объем ввода жилья за последние годы все время снижается: за период 2015–2017 годы снижение составило 30,6 %. В функционировании строительного производства, в виду особенностей его организации, чрезвычайно важным является создание условий своевременного движения товарных потоков между заказчиком и поставщиком. Неэффективная организация этой системы, ведет к нарушению сроков строительства и штрафным санкциям. Современная организация строительного производства требует эффективного привлечения и использования инвестиций, что ведет к коренной перестройке проводимой ими инвестиционной политики. Строительные организации вынуждены сами искать инвесторов, а наблюдающаяся сегодня низкая инвестиционная активность, вынуждает их разрабатывать политику эффективного использования привлеченных инвестиций. Поэтому одним из наиболее важных методологических вопросов исследования возможностей для дальнейшего развития экономического потенциала организации строительного производства является вопрос разработки методов эффективного привлечения и использования инвестиций в строительную отрасль России. В этой связи становятся актуальными вопросы изучения механизмов инвестирования в строительную отрасль и проблемы разработки и внедрения новых методов эффективного привлечения и использования инвестиций в организацию строительного производства, что получило отражение в настоящей научной статье.

Ключевые слова: инвестиции в строительство, методы привлечения инвестиций, методика использования инвестиций, организация строительного производства, методология инвестирования в строительство.

Введение. Рынок строительного производства в современной России достаточно быстро трансформируется. По прогнозам экспертов в строительной сфере такой процесс продолжится до перехода строительной отрасли России к проектному финансированию. На фоне происходящих кардинальных изменений многие строительные компании могут перестать существовать, не справившись с ужесточающейся в этой сфере конкуренцией и снижением объемов строительства. Сегодня российский строительный бизнес постепенно переходит от схемы большого девелопмента, когда строительное производство имело большие масштабы, а строительные компании занимались строительством сразу нескольких больших микрорайонов, к европейской модели, когда строительное производство основывается на банковском проектном финансировании [1, с. 40]

Инвестиции в строительство – это финансовые или имущественные вложения в объекты строительного производства, имеющие своей целью получение определенной прибыли, создание

строительного продукта или решение государством социальных вопросов в сфере жилищного или социального строительства. Инвестиции в объекты недвижимости показаны на рис. 1.

Инвестиции в строительное производство могут иметь форму денежного инвестирования отдельным инвестором, банковского проектного финансирования или банковского кредитования, инвестирования посредством использования ценных бумаг, лизинга или предоставления необходимого для строительства оборудования.

Инвестор в строительном производстве – физическое или юридическое лицо, которое осуществляет от имени некой группы вкладчиков или от своего собственного имени финансовые вложения в форме инвестиций заемных или собственных денежных средств, или в форме иных интеллектуальных или имущественных ценностей – в конкретное строительное производство, в объеме полного финансирования, с целью ввода объекта строительного производства в эксплуатацию.

Инвестиции в строительство имеют форму инвестиционного цикла, то есть ряда этапов в

строительном производстве, которые включают в себя единый и взаимосвязанный процесс реализации капитальных вложений инвестиционных средств, в инвестиционный - строительный комплекс, а именно [2, с.58]:

- период оценки инвестиционного строительного проекта (намерение об инвестировании в строительное производство; поиск источников для привлечения инвестиций; поиск подрядчиков реализации строительного проекта и заключение договора);
- процесс проектирования строительного производства;

- осуществление строительного производства, в форме строительно-монтажных работ;
- ввод объекта строительного производства в эксплуатацию;
- обеспечение окупаемости инвестиционного проекта в строительное производство.

При этом инвестиционный – строительный комплекс (ИСК) включает как объекты и субъекты строительного производства, так и смежные отрасли, принимающие участие в строительном производстве (рис. 2).



Рис. 1. Инвестиции в объекты недвижимости [1, с.44]

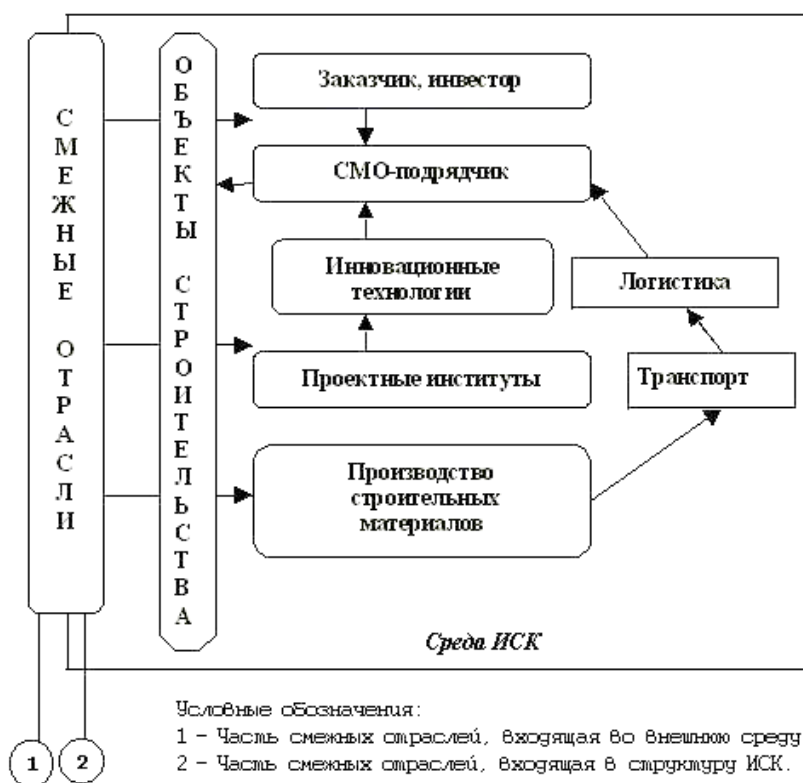


Рис. 2. Структура ИСК [2, с.61]

Организация строительного производства включает в себя различные типы объектов, в строительство которых требуется производить инвестиции. При этом вид инвестирования зависит от назначения строящегося объекта. Поэтому инвестиции следует определять двух типов [3, с. 53]:

- реальные инвестиции, то есть направленные на строительство определенного вида недвижимости, с последующим ее использованием собственником по назначению;
- финансами коллективного инвестирования, для совместного инвестирования какого-либо строительного проекта.

Значит согласно критерия оценки типов инвестиций в строительное производство, их можно разделить на следующие категории:

- инвестиции в строительство жилья;
- инвестиции в строительство коммерческой и офисной недвижимости;
- инвестиции в строительство групп жилых объектов малоэтажного строительства, а также коттеджных поселков;
- инвестиции в строительство развлекательных объектов и гостиничных комплексов;

- инвестиции в промышленное строительство.

Инвестиции в гражданский непромышленный сектор, как правило, значительно дешевле, чем инвестиции в промышленное строительство.

Методология. Эффективность инвестиций в строительное производство достаточно высока, так как инвестор имеет несколько возможностей получения приемлемой прибыли от объекта строительства, куда были потрачены его инвестиции. Так инвестор может использовать построенную на его деньги недвижимость по-разному: сдать недвижимость аренду; расширить производство, построив дополнительный строительный объект; продать построенную недвижимость. При этом стоимость объекта строительного производства, обычно всегда ниже, чем его рыночная стоимость. Также учитывается, и то, что чем меньше вложенный объем инвестиций, тем больше показатель возврата этих инвестиций.

Значит, эффективность инвестиций в строительное производство может быть оценено по формуле [4, с.58]:

$$\varepsilon_{и.с} = \frac{((\text{цена.продажи} + \text{доход}) - \text{размеринвестиции})}{\text{размеринвестиции}} \quad (1)$$

Исходя из этого, можно предположить, что разница в эффективности инвестиций в строительное производство между готовым строительным объектом и еще строящимся объектом, обычно пропорциональна разнице между стоимостью их инвестиционных инициатив. Поэтому инвестиции в строительное производство всегда более рискованные, чем инвестиции в уже построенную недвижимость.

Основная часть. Один из эффективных процессов развития строительного производства получил название девелоперского (от англ., to develop – развивать). Девелопер в строительстве – это одна из наиболее эффективных форм инвестирования в строительное производство, осуществляемое инвестором, вкладывающим финансовые средства в развитие, как правило, городских или пригородных территорий. Девелоперские инвестиционные проекты в строительстве были популярны в прошлом веке во многих западных странах и получили развитие в России в начале 21 века [5, с.58]. Однако снижение масштабов строительства, которое наблюдается во всем мире и в том числе в России в последние годы, вынуждает строительный бизнес искать другие эффективные формы финансирования

строительного бизнеса, а также методы эффективного привлечения и использования инвестиций в организацию строительного производства. Таким методом становится банковское проектное финансирование.

Рассматривая существующие в практике деятельности строительных компаний – методы привлечения и использования инвестиций, можно отметить ряд стратегий. Стратегии привлечения инвестиций в строительную отрасль предполагают соответствующее свое обоснование, в рамках необходимости их поиска, привлечения и использования в организации строительного производства, что основывается на двух важных факторах реализации таких инвестиционных проектов [6]:

1. Обоснование стратегии эффективного привлечения и использования инвестиций в строительной отрасли, что предполагает выбор методов инвестирования, определение источников инвестиций и их структуры.

2. Выбор метода привлечения и использования инвестиций в строительное производство. Что выступает как наиболее эффективный из имеющихся способов привлечения инвестиционных ресурсов, в целях обеспечения финансовой реализуемости строительного проекта.

Методы привлечения инвестиций в организацию строительного производства, как инвестиционного проекта бывают в форме внутреннего,

единого источника финансирования и в форме внешних инвестиций. Возможные источники финансирования инвестиций показаны на рис. 3.



Рис. 3. Возможные источники финансирования инвестиций [7, с. 39]

В практике деятельности строительных компаний, осуществляющих организацию строительного производства, в качестве методов привлечения и использования инвестиций существуют следующие [8, с.65]:

- метод самофинансирования, то есть это такой способ инвестирования строительного производства, когда компания использует только собственные финансовые и материальные ресурсы;

- метод привлечения инвестиций в строительное производство через всевозможные фондовые инструменты: институты совместного инвестирования, фонды финансового строительства, фонды операции с недвижимостью. Также используют варианты долевого финансирования или акционирования – продажу различных ценных бумаг. Так, например, существующий сегодня в России Фонд финансового строительства, является таким финансовым посредником, который заключает соответствующий правовой договор с компаний - строителем, после чего инвестирует на строительное производство, которое осуществляет эта компания.

- система совместного инвестирования, объединяющая денежные инвестиции различных инвесторов, например, через паевой или корпоративный паевой инвестиционный фонд.

- метод кредитного финансирования. Это так называемые инвестиционные кредиты банков. Инвестиционные кредиты коммерческих банков в строительное производство, до сегодняшнего дня считаются одним из эффективных способов

инвестирования строительства, прежде всего потому, что: они не имеют таких затрат, которые необходимы при регистрации и размещении ценных бумаг; дают возможность осуществления гибкой схемы финансирования; позволяют снизить налогооблагаемую прибыль, посредством переноса процентных выплат на затраты, которые включаются в себестоимость; имеют свойство финансового рычага, что позволяет повысить рентабельность собственного капитала в структуре инвестиционных средств;

- лизинг, как метод инвестирования в строительные проекты, является инвестиционным методом финансирования капитала в материальное имущество. Однако, с другой стороны он также имеет и особенные черты кредита, так как предоставляется на условиях возвратности, срочности и платности;

- бюджетное инвестирование строительных программ проводится обычно за счет государственного целевого финансирования в рамках государственных специальных программ развития и поддержки. Такое бюджетное финансирование строительных программ основывается на использовании государственных, региональных бюджетных или муниципальных средств;

- смешанное инвестирование строительной деятельности осуществляется посредством совместного использования указанных выше методов;

- проектное финансирование, применяемое для инвестирования строительного производства посредством банковского проектного инвестирования.

Схема организации инвестиционного процесса строительного производства показана на рис. 4.



Рис. 4. Схема организации инвестиционного процесса строительного производства [9, с.49]

В связи с изменениями, происходящими в строительной сфере, во всем мире развиваются новые методы инвестирования в организацию строительного производства. Одним из перспективных методов является банковское проектное финансирование. Так в связи с этим в России с 2018 года планируется введение новой схемы покупки строящегося жилья. Разница в том, что вместо существовавшего ранее долевого строительства, будет внедряться проектное финансирование [10]. В декабре 2017 года, по поручению Президента России были разработаны мероприятия, касающиеся поэтапного замещения долевого строительства банковским проектным финансированием, а также другими альтернативными и более эффективными методами инвестирования. Такие мероприятия позволят минимизировать риски граждан – приобретателей жилья, а также способствовать более эффективному, чем сегодня, привлечению и использованию инвестиций в организацию строительного производства.

Следует отметить, что банковское проектное финансирование использовалось в организации строительного производства и ранее. Однако незначительное использование этого метода, в сравнении с механизмом долевого участия объясняется, с одной стороны достаточно высокой банковской процентной ставкой по выдаваемым кредитам. Так в 2017 году, в предложениях от коммерческих банков процентная ставка составляла около 14-15 процентов. В некоторых банках она была и выше, так как небольшим строительным компаниям процентная ставка обходится значительно дороже, чем крупным, что, кстати,

значительно влияет на развитие всего строительного бизнеса России. При этом банковская ставка по таким кредитам, выдаваемым с целью проектного финансирования, для строительных организаций должна быть на уровне 4,5–4,7 процентов, что способно обеспечить как рентабельность строительного проекта, так и не допущения роста цен на строящуюся недвижимость. При предлагаемых сегодня 14 процентах, за банковский кредит, цены в строительной отрасли могут сразу увеличиться на 15 процентов и более [11].

С другой стороны, недостаточное применение метода банковского проектного финансирования связано и с достаточно жесткими требованиями к строительной компании, в плане кредитной истории этой компании, структуры его капитала, механизмов, используемых в страховании строящегося объекта и методов обеспечения банковских инвестиций. И еще одно существенное ограничение, сдерживающее сегодня активное применение метода банковского проектного финансирования – это установленные ограничения по использованию финансовых средств, выдаваемых банком, примером чему может служить ограничение использования финансовых средств при прокладке коммуникаций к строящемуся объекту, если в условии проектного финансирования были записаны только строительно-монтажные работы. Такие ограничения способны снизить общую рентабельность строительного производства в России.

По мнению многих экспертов, в случае, если совершенствуемая сегодня система банковского

проектного финансирования в строительной отрасли, будет изменяться, с учетом возникающих в ней проблем и ограничений, а также при принятии необходимой законодательной базы, в течение 5 лет могут произойти необходимые изменения, как в строительной отрасли, так и в банковской сфере, что позволит создать механизм эффективного привлечения и использования инвестиций в организацию строительного производства, в современной России [12, с.28].

Также среди инноваций в области совершенствования механизма привлечения и использования инвестиций в организацию строительного производства есть новая модель инвестирования строительного производства – внедрение нового банковского инструмента – эскроу-счета. Эта финансовая модель уже закреплена в поправках в 214-ФЗ [13] и предполагает посредничество коммерческого банка, в процесс передачи денег дольщиков – строительной компании. Механизм модели использования эскроу-счета включает гарантийные расчеты с клиентами, по сделкам с недвижимым имуществом, застрахованным на сумму до 10 миллионов рублей, в случае неспособности банка или застройщика завершить строительство. Так, в случае банкротства банка строительная компания, используя механизм эскроу-счета сможет получить деньги необходимые для окончания строительства по проекту. Такой механизм призван служить для обеспечения надежности системы банковского сопровождения эффективного привлечения и использования инвестиций в организацию строительного производства.

Проводя анализ существующих в научной литературе методов и подходов эффективного привлечения и использования инвестиций в организацию строительного производства, можно сформулировать авторскую позицию по этому вопросу, актуальному сегодня для строительной отрасли. Основой такой позиции может стать утверждение, что качество оценки используемых методов привлечения и реализации инвестиций является основой эффективного инвестирования в строительное производство. Это объясняется необходимостью выбора именно эффективных и результативных механизмов инвестирования и использования инвестиций, что может быть достигнуто только при наличии качественных методов оценки и выбора таких механизмов.

Так, оценка денежных инвестиций в строительное производство является важным фактором привлечения и использования инвестиций в организацию строительного производства. По нашему мнению, рассчитывая потенциальную прибыль от инвестиций в строительное производство, следует учитывать его особенности.

Статистические данные и проведенные расчеты показывают, что между оценкой уже построенной недвижимости и строительством существует значительная разница. Оценка действующего объекта не предполагает те факторы, которые влияют на процесс строительного производства, а значит, статистические методы оценки пригодные для уже построенного объекта будут недостаточны при оценке инвестирования строительства. Это обстоятельство позволяет автору утверждать, что наиболее эффективными методами в этих случаях будут динамические методы оценки инвестиций, которые и предлагается использовать в проводимой оценке [14, с.46].

Нами обосновано и предлагается для оценки эффективности инвестиций в строительное производство использовать наиболее показательный, по нашему мнению, способ расчета. А именно вычисление чистой приведенной стоимости инвестиционного проекта NPV, которое можно провести по формуле (2) [15, с.38].

$$NPV = \sum_{t=0}^N \frac{CF_t}{(1+i)^t}, \quad (2)$$

где CF – общая сумма рассчитанного чистого денежного потока в определенный период времени; t – взятый определенный период времени, в течение которого учитывается чистый денежный поток для строительного проекта; N – учитываемое количество оцененных периодов, в течении которых рассчитываются инвестиции в определенный строительный проект; i – ставка дисконтирования, которая принимается при расчете данного строительного проекта.

Наша позиция заключается в возможности применения этого показателя оценки эффективности привлечения и использования инвестиций в организацию строительного производства, с учетом особенности строительного производства. То есть мы предлагаем применение в расчетах некоторых, дополнительных ставок дисконтирования, что объясняется особенностью процесса строительного производства.

Мы считаем необходимым учитывать, что строительное производство, как правило, осуществляется достаточно длительный период времени, что требует от строительной компании поэтапного вложения денежных средств, в процессе реализации определенного этапа строительных работ. А значит, в процессе строительного производства инвестор должен дополнительно финансировать различные этапы строительного производства: отделка помещений, монтаж инженерных сооружений и систем, остекление и установка дверей и оконных прое-

мов и другое, что требует дополнительного финансирования этих процессов в общем строительном производстве [16, с. 46].

Проведенное исследование, также позволяет нам утверждать, что при оценке эффективности инвестиций в строительное производство следует учитывать дополнительные риски, связанные с строительным производством - которые часто дополнительно влияют на показатель NPV. В связи с этим следует отметить, что банковское проектное финансирование несет в себе определенные риски, связанные как с отраслевой особенностью строительного бизнеса, так и с субъективными особенностями каждого проекта, в конкретном случае или существующей географической уникальности организации строительного производства.

Нами было определено, что наиболее значимые риски в строительстве – это технологический риск, рыночный риск, риск участников проекта, риск завершения строительного проекта, процентный, валютный и операционный риски, риск синдицирования кредита и ряд других рисков в использовании инвестиций в организацию строительного производства [17, с.53].

В связи с изложенными выше обстоятельствами, следует обозначить, что субъекты привлечения и использования инвестиций в организацию строительного производства, должны учитывать, при оценке эффективности инвестиций - наличие таких рисков, свойственных только для строительной отрасли.

Поэтому считаем необходимым принятие правильного решения в процессе привлечения и использования инвестиций в организацию строительного производства основывать на качественной оценке использования инвестиций, с учетом соображений, сформулированных нами выше. Считаем, что наши предложения могут служить не только для правильной оценки привлечения и использования инвестиций в строительное производство, но и залогом эффективности организации всего строительного проекта, а также защиты интересов инвесторов.

Считаем, что необходимыми способами снижения возможных рисков при банковском проектом финансировании являются следующие: распределение возможных рисков между всеми участниками инвестиционного проекта; создание резервного фонда; эффективное страхование; хеджирование валютных рисков; контроль со стороны независимой надзорной компании. Применение методов оценки и снижения вероятности наступления рискового случая достигается посредством управления рисками. Процесс управления рисками, в строительном производ-

стве, по нашему мнению, может включать экспертную оценку проекта до начала финансирования; возможности выявления рисков; оценку рисков; выбор методов и инструментов по управлению возможными рисками; применение для снижения выявленных событий - выбранных методов и инструментов; оценка результатов снижения рисков. Такой алгоритм выявления возможных рисков может быть применен и в процессе привлечения и использования инвестиций в организацию строительного производства.

При этом особое значение в методологии эффективного привлечения и использования инвестиций в организацию строительного производства, по нашему мнению, имеет экспертная оценка инвестиционного проекта до начала финансирования. В этой оценке особое внимание должно быть уделено «запасу прочности» строительного проекта, структуре капитала, средневзвешенной стоимости инвестиционного проекта. Именно экспертная оценка может позволить выявить возможные проблемные ситуации, в процессе привлечения и использования инвестиций в организацию строительного производства. Экспертная оценка, вполне естественно, должна проводиться квалифицированными специалистами в области строительства, а также привлеченными научными институтами, работающими в области такой оценки.

Выводы. Подводя итог исследования, проведенного в данной статье, следует сформулировать авторскую позицию, касающуюся каждого рассмотренного тезиса:

1. Строительство является особым видом производственной деятельности, требующим специального подхода в методологии оценки эффективности деятельности, в том числе в выборе эффективных методов оценки привлечения и использования инвестиций.

2. Предлагается для оценки эффективности инвестиций в строительное производство использовать наиболее показательный, по нашему мнению, способ расчета: вычисление чистой приведенной стоимости инвестиционного проекта NPV, с учетом особенности строительного производства. В производимых расчетах следует применять дополнительные ставки дисконтирования, которые могут быть обоснованы для каждого конкретного строительного проекта, требующего инвестирования. Необходимость использования дополнительных ставок дисконтирования объясняется особенностью процесса строительного производства.

3. Мы считаем, что разработка новых методов эффективного привлечения и использования инвестиций, а также развитие уже существую-

щих, с учетом особенностей строительного производства, позволит преодолеть существующий кризис в строительной отрасли и привлечь новые инвестиции, которые строительные компании будут использовать в своей деятельности с максимальной эффективностью.

4. Строительная отрасль требует дополнительного внимания государства к своему развитию. В связи с этим следует отметить, что одним из основных способов государственного регулирования эффективного привлечения и использования инвестиций в организацию строительного производства является снижение банковских ставок финансирования строительных проектов. Это относится, как развивающемуся сегодня методу проектного финансирования, так и к уже существующим методам, таким, как залоговое кредитование строительных компаний, осуществляющих строительное производство.

5. Предлагается дальнейшее исследование эффективности новых методов использования инвестиций в организацию строительного производства, с учетом особенностей строительства в условиях российского климата и особенностей удаленности строящихся объектов от основных инфраструктур. Примером инновационных методов в исследуемой области предложено рассматривать использование эскроу-счета. Такие инновационные методы привлечения и использования инноваций в строительстве, по нашему мнению, могут способствовать преодолению кризиса в строительной отрасли России и дальнейшему ее развитию.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Орт А.И. Инвестиционно-строительный комплекс Санкт-Петербурга: проблемы и перспективы развития. СПб.: Изд-во МФИН, 2014.
2. Асаул А.Н., Грахов В.П. Интегративное управление в инвестиционно-строительной сфере ред. А.Н. Асаула. СПб.: «Гуманистика», 2013. 248 с.
3. Асаул А.Н. Экономика недвижимости. М.: Интер, 2014. 304 с.
4. Вечер Н.Ф., Ольховский А.А. Инвестиции в коммерческую недвижимость. Жизненный цикл объекта. СПб.: Издательский дом «Бизнес-пресса», 2015. 176 с.

5. Кочкин В. Эффективный девелопмент. М.: Редакционно-издательский дом «Российский писатель», 2013. 336 с.

6. Официальный сайт Ассоциации «Общероссийская негосударственная некоммерческая организация – общероссийское отраслевое объединение работодателей «Национальное объединение саморегулируемых организаций, основанных на членстве лиц, осуществляющих строительство». <http://nostroy.ru/>.

7. Мурзин А.Д. Недвижимость: экономика, оценка и девелопмент. Ростов н/Д: Феникс, 2013. 382 с.

8. Экспертиза и инспектирование инвестиционного процесса и эксплуатации недвижимости. Под общ. науч. ред. П.Г. Грабового. – 2-е изд., перераб. и доп. Ч. 1. М.: Проспект, 2013. 416 с.

9. Копейкин А.Б., Рогожина Н.Н., Туманов А.А., Якубов М.О. Финансирование жилищного строительства. М.: Фонд «Институт экономики города», 2014. 168 с.

10. Официальный сайт Минстрой России. <http://www.minstroyrf.ru/>

11. Официальный сайт Национального объединения изыскателей и проектировщиков. <http://nopriz.ru/>

12. Абдужабаров А.Х. Механизм развития инвестиционного потенциала объектов коммерческой недвижимости: Дис. ... канд. экон. наук: 08.00.05 / Алишер Хамракулович Абдужабаров. М., 2013. 171 с.

13. "Градостроительный кодекс Российской Федерации" от 29.12.2004 N 190-ФЗ (ред. от 29.07.2017) (с изм. и доп., вступ. в силу с 30.09.2017). КонсультантПлюс. http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_51040/

14. Степанов И.С. Менеджмент в строительстве. М.: Юрайт, 2013. 540 с.

15. Федотова М.А. Тазикина Т.В., Бакулина А.А. Девелопмент в недвижимости. М.: КНО-РУС, 2013. 264 с.

16. Alvarez C., Urbano. D., Amoros J.E. Gem research: achievements and challenges // Small Business Economics. 2014. №42. Pp. 445–465.

17. Shkil N.G. Situational factors of international business // European journal of economics and management sciences. 2015. №2. Pp. 52–57.

Информация об авторах

Князева Елена Сергеевна, специалист, преподаватель кафедры информационных систем, технологий и автоматизации в строительстве.

E-mail: knyaz-2003@ya.ru

Национальный Исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ). Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26

Поступила в феврале 2018 г.

© Князева Е.С., 2018

E.S. Knyazeva

ATTRACTION AND IMPLEMENTATION OF INVESTMENTS IN BUILDING PRODUCTION'S ORGANIZATION

Currently, there is a worldwide tendency to improve the efficiency of mechanisms for attracting and using investments in the organization of construction. This problem is also an important condition for the development of the entire construction industry in the Russian Federation. Data provided by Rosstat indicate that the volume of housing commissioning has been decreasing constantly in recent years: during the period 2015-2017, the decline was 30.6%. In the functioning of the construction industry, in view of the peculiarities of its organization, it is extremely important to create conditions for the timely movement of commodity flows between the customer and the supplier. Ineffective organization of this system leads to violation of construction deadlines and penalties. The modern organization of construction production requires effective attraction and use of investments, which leads to a radical restructuring of their investment policy. Construction companies are forced to look for investors themselves, and the low investment activity which is observed today, forces them to develop a policy of effective use of attracted investments. Therefore, one of the most important methodological issues of researching the possibilities for further development of an economic potential of the construction production organization is developing methods for effectively attracting and using investments in the construction industry in Russia. In this connection, the issues of studying the investment mechanisms in the construction industry and the problems of developing and introducing new methods for effective attraction and use of investments in the organization of construction production are becoming topical, which is reflected in this scientific article.

Keywords: investment in construction, methods of attracting investments, methods of using investments, organization of construction production, methodology for investing in construction.

REFERENCES

1. Ort A.I. Investment and construction complex of St. Petersburg: problems and development prospects. SPb.: Publishing house IFHN, 2014, 92 p.
2. Asaul A.N., Grakhov V.P. Integrative management in the investment and construction sphere. St. Petersburg: "Humanistics", 2013, pp. 248
3. Asaul A.N. Economy of real estate. Moscow, Inter, 2014, 304 p.
4. Evening N.F., Olkhovsky A.A. Investments in commercial real estate. Life cycle of an object. SPb.: Publishing house "Business Press", 2015, 176 p.
5. Kochkin V. Effective Development. M.: Editorial and Publishing House "Russian Writer", 2013. 336 p.
6. Official site of the Association "All-Russian non-governmental non-profit organization - All-Russian branch association of employers" National Association of Self-Regulating Organizations, based on the membership of persons engaged in construction". <http://nostroy.ru/>
7. Murzin A.D. Real estate: economics, valuation and development: textbook. Rostov n/a: Phoenix, 2013, 382 p.
8. Examination and inspection of the investment process and operation of real estate: a textbook. Under total. sci. Ed. P.G. Grabovoi. 2 nd ed., Pererab. and additional. Part 1. Moscow: Prospekt, 2013, 416 p.
9. Kopeikin A.B., Rogozhin N.N., Tumanov A.A., Yakubov M.O. Financing of housing construction. Moscow: Fund "Institute of Urban Economics", 2014, 168 p.
10. Official site Minstroy of Russia. <http://www.minstroyrf.ru/>
11. Official site of the National Association of Surveyors and Designers. <http://nopriz.ru/>
12. Abdujabarov A.Kh. The mechanism of development of investment potential of commercial real estate objects: Dis kand. ... cand. econ. Sciences: 08.00.05 / Alisher Khamrakulovich Abdujabarov. M., 2013, 171 p.
13. "Urban Development Code of the Russian Federation" dated 29.12.2004 N 190-FZ (as amended on July 29, 2017) (as amended and supplemented, effective from 30.09.2017). Consultant Plus. http://www.consultant.com/document/cons_doc_LAW_51040/
14. Stepanov I.S. Management in construction. Moscow: Yurayt, 2013, 540 p.
15. Fedotova M.A., Tazikhina T.V., Bakulin A.A. Development in real estate: a monograph. Moscow: Knorus, 2013, 264 p.
16. Alvarez C., Urbano D., Amoros J.E. Gem research: achievements and challenges // Small Business Economics, 2014, no. 42, pp. 445–465.
17. Shkil N.G. Situational factors of international business // European journal of economics and management sciences, 2015, no. 2, pp. 52–57.

Information about the author

Elena S. Knyazeva, Master student, lecturer.

E-mail: knyaz-2003@ya.ru

Moscow State University of Civil Engineering (National Research University).

Russian Federation, 129337, Moscow, Yaroslavskoe shosse, 26.

Received in February 2018

*Карамышев А.Н., канд. экон. наук, доц.
Набережночелнинский институт Казанского федерального университета*

АНАЛИЗ ПРОБЛЕМ ПРОЦЕССНОГО УПРАВЛЕНИЯ КРУПНЫМИ ПРОМЫШЛЕННЫМИ ПРЕДПРИЯТИЯМИ

antonkar2005@yandex.ru

Российские компании проявляют значительный интерес к внедрению и развитию процессного управления. Это связано, в первую очередь, с экономической целесообразностью его применения. Вторую, с возможностями, которые открываются на каждом уровне развития системы процессного управления. Однако, несмотря на очевидные экономические выгоды от применения процессного управления, значительная часть проектов по его внедрению и развитию не достигает поставленных целей. По этой причине выявление и анализ негативных факторов, а также поиск путей снижения их влияния, являются актуальными задачами для промышленных предприятий. В данной статье проведен анализ наиболее значимых факторов, деструктивно влияющих на развитие процессного управления, и приведена статистическая информация по данным факторам.

Ключевые слова: процессное управление, промышленное предприятие, факторы, анализ.

Введение. Внедрение технологий процессного управления предприятием позволяет в достаточно короткие сроки повысить эффективность его деятельности и конкурентоспособность. Опросы респондентов показывают, что на российских предприятиях есть понимание экономической целесообразности внедрения процессного управления, поскольку в тройке побуждающих факторов его реализации находятся ответы "повышение операционной эффективности" (59%) и "снижение затрат/увеличение прибыли" (55%) [1].

Однако значительная часть проектов по внедрению и развитию процессного управления не достигают поставленных перед ними целей: треть респондентов отмечают отсутствие эффекта от реализации мероприятий по внедрению процессного управления [1].

Методология. В ходе проведенного исследования были применены следующие методы:

1. Выборочный анализ специализированной литературы с высоким индексом цитирования по указанной в названии статьи тематике.

2. Сформированный массив информации был систематизирован с целью дальнейшего анализа. В частности, были выявлены основные проблемы внедрения и развития процессного управления.

3. Проведен анализ собранной информации, приведена статистическая информация из отчета АВРМР Russia «Российский рынок ВРМ 2015».

4. Результатам исследования была дана авторская интерпретация, сделаны выводы.

Основной текст. Можно выделить следующие проблемы процессного управления:

1. Методологические проблемы, обусловленные наличием десятка методологий процессного управления, а также отсутствием единого

понимания сущности процессного управления и устоявшегося понятийного аппарата.

2. Проблемы на этапе моделирования и документирования бизнес-процессов.

3. Проблемы оптимизации бизнес-процессов.

4. Социальные проблемы, возникающие после внедрения процессного управления.

5. Проблемы повышения эффективности деятельности компании в целом на основе процессного управления.

Рассмотрим указанные проблемы.

1. Методологические проблемы, обусловленные наличием десятка методологий процессного управления, а также отсутствием единого понимания сущности процессного управления и устоявшегося понятийного аппарата.

Проведенный автором анализ [13] позволил выявить следующие оригинальные методологии процессного управления: «Бережливое производство», «Шесть сигм», «Rummler-Branch», «Hammer», «SCOR», «BPTrends Associates», «CMMI», методологии в программных продуктах «1C», «BAAN», «SAP» [2,3]. Эти методологии используются зарубежными предприятиями с целью улучшения качества системы управления и получения дополнительных возможностей при разработке и обосновании управленческих решений.

Однако предметы исследований у данных методологий разные, соответственно, технологии внедрения в практику данных методологий существенным образом отличаются. Например, компания, оптимизирующая производственные процессы, и компания, модифицирующая учетные процессы в информационной системе предприятия в соответствии с эталонными моделями

бизнес-процессов, формально занимаются внедрением «процессного подхода», выполняя при этом совершенно разные действия.

И результаты, полученные от реализации указанных процессных методологий, могут иметь противоположные результаты: от негативных (напрасно инвестированные ресурсы во внедрение процессного управления, ухудшение операционных результатов и т.п.) до позитивных (улучшение управляемости предприятия, увеличение прибыли, снижение затрат и т.д.).

Также определенную путаницу в теоретические основы процессного управления вносит большое количество классификаций понятия "бизнес-процесс", выделяемых наборов бизнес-процессов предприятия, атрибутов бизнес-процессов [4–8].

Лишь немногие российские респонденты в качестве побуждающих факторов внедрения процессного управления назвали повышение клиентоориентированности (31 %) и уменьшение времени вывода новых продуктов и услуг на рынок (21 %) [1], что, по нашему мнению, свидетельствует о недопонимании подавляющим числом опрошиваемых сущности и теоретических основ процессного подхода к управлению (подробно данный вопрос был рассмотрен нами в [9, 10]).

2. Проблемы на этапе моделирования и документирования бизнес-процессов.

На этапе моделирования наиболее серьезными являются социально-экономические проблемы. Описание бизнес-процессов предполагает активное участие исполнителей отдельных работ и задач. На практике персонал, зачастую, саботирует, усложняет проекты описания и моделирования своих действий. Сотрудник может скрывать технологии выполнения работы с целью:

- сохранения своих конкурентных позиций и высокого статуса внутри коллектива предприятия. Описание и регламентация позволят тиражировать ценный опыт, что будет благом для предприятия в целом, но может противоречить интересам конкретных сотрудников.

- сохранения существующих нормативов оплаты и времени выполнения работ. Анализ, проведенный на основе разработанной процессной документации, может выявить значительные резервы времени сотрудника, что в большинстве случаев приводит к его дополнительной нагрузке, снижению норм оплаты, интенсификации труда.

- сохранения существующих рабочих мест на предприятии. Моделирование, описание и последующая автоматизация бизнес-процессов приводит к сокращению потребности в трудовых

ресурсах и последующим сокращениям персонала. Понимание этого существенным образом демотивирует персонал при внедрении процессного управления.

Результаты опросов свидетельствуют, что одним из основных сдерживающих факторов внедрения процессного подхода выступает инертность сотрудников [1].

Формы саботирования проекта внедрения процессного управления может быть различной: от отказа работать с группами описания бизнес-процессов под различными предложениями (например, высокая загруженность, срочные другие проекты, нехватка времени и т.п.) до выдачи неполной информации, сокрытия важных нюансов работы, психологического давления на бизнес-аналитиков и т.д., что может привести к формированию не отражающих реальность моделей работы, усложняет их анализ, дискредитирует идею процессного подхода к управлению.

В этих условиях важное значение приобретают разработка комплекса мероприятий по защите интересов сотрудников и обучение сотрудников нотациям моделирования бизнес-процессов с целью частичного делегирования им полномочий по описанию работы. Однако вопросам обучения на практике придается слабое значение: две третьих российских респондентов отметили, что тренинги по процессному управлению на их предприятиях не проводятся [1].

Кроме того, 37 % опрошенных отмечают отсутствие интереса руководства к внедрению процессного подхода [1]. Как показывает практика если в работу по реорганизации процессов не вовлечены руководители и сотрудники, которые их выполняют, то такая работа обречена на неудачу на 80–90 % [11].

3. Проблемы оптимизации бизнес-процессов.

Проблемы оптимизации стоимости, длительности, трудоемкости бизнес-процессов возникают после получения их моделей. Оптимизация описанных бизнес-процессов является в настоящее время, во многом, творческим процессом. Для эффективной оптимизации необходимо привлекать специалистов в интересующей предметной сфере с целью обсуждения и разработки комплекса оптимизационных мероприятий. При этом необходимо найти дающие наибольший экономический эффект точки приложения усилий, которые позволят повысить эффективность деятельности предприятия в целом. Методологически данные вопросы еще не проработаны должным образом до прикладного уровня.

По нашему мнению, высоким потенциалом при оптимизации бизнес-процессов обладают экономико-математические методы (линейное и

динамическое программирование, сетевое управление, теория игр, системы массового обслуживания, управление запасами и другие [12]), но они нуждаются в доработке с учетом специфики процессного управления и особенностей крупных машиностроительных предприятий.

4. Социальные проблемы, возникающие после внедрения процессного управления.

Автоматизация бизнес-процессов и повышение эффективности использования трудовых ресурсов приводят к избытку рабочей силы на предприятии. Проблема решается переобучением персонала на новые перспективные для компании направления деятельности или его сокращением.

5. Проблемы повышения эффективности деятельности компании в целом на основе процессного управления.

Любые мероприятия по повышению эффективности деятельности требуют инвестиций в новые технологии, обучение персонала, разработку новых проектов. Инвестированные ресурсы должны окупиться в течение какого-то приемлемого периода времени, для принятия управленческого решения, в большинстве случаев, разрабатывают бизнес-план инвестиционного проекта.

Необходимо отметить, что проекты улучшения бизнес-процессов рассматриваются, как правило, на локальном уровне, т.е. не оценивается влияние принимаемого управленческого решения на смежные бизнес-процессы и сеть бизнес-процессов в целом. Также существует методологическая проблема обоснованного управления предприятием как системой на основе бизнес-процессов, что негативно сказывается на показателях его эффективности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Коптелов А., Филатова М. Исследование АВРМР Russia «Российский рынок BPM 2015» [Электронный ресурс]. URL: <http://abpmp.org.ru/> (дата обращения 30.03.2017).
2. Harmon P. A BPTrends Report «The State of Business Process Management-2016»

[Электронный ресурс]. URL: www.bptrends.com (дата обращения 30.03.2017).

3. Карамышев А.Н. Сравнительный анализ методологий процессного управления // Вестник БГТУ им. В.Г.Шухова. 2017. №7. С. 194–197.
4. Karamyshev A., Makhmutov I., Utyaganov R. Problems of Institutionalization of the Process-Based Management in Industrial Enterprises // International Business Management. 2015. № 9(6). С. 1576–1579.
5. Ишмурадова И.И., Сибасева Г.Р. Цифровое преобразование бизнес-процессов, как процесс организационных изменений предприятия в инновационной экономике // Наука Красноярья. 2016. № 6-2 (29). С. 92–97.
6. Амирханов К.Г. Бизнес-процессы промышленного предприятия: понятие и классификация // Инновации в промышленном комплексе. 2005. С.140-149.
7. Рубцов С.В. Уточнение понятия бизнес-процесс // Менеджмент в России и за рубежом. 2001. №6.
8. Удалов Ф.Е., Кузнецов В.П., Гарина Е.П. Изучение методов процессного управления промышленным предприятием // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. 2011. №5 (2). С. 232-237. URL: <https://cyberleninka.ru/article/v/izuchenie-metodov-protsessnogo-upravleniya-promyshlennym-predpriyatiem>
9. Карамышев А.Н. Анализ сущности процессного подхода к управлению предприятием // Компетентность. 2017. №5. С. 47–51.
10. Карамышев А.Н. Анализ существующих подходов к управлению промышленным предприятием // Вестник ВСГУТУ. 2017. №3. С. 111–115.
11. Репин В.В., Елиферов В.Г. Процессный подход к управлению. Моделирование бизнес-процессов. М.: РИА «Стандарты и качество». 2008. 408 с.
12. Кремер Н.Ш., Путко БА., Тришин И.М., Фридман М.Н. Исследование операций в экономике: Учеб. пособие для вузов. М.: ЮНИТИ. 2005. 407 с.
13. Карамышев А.Н. Сравнительный анализ методологий процессного управления // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2017. №7. С. 194–197.

Информация об авторах

Карамышев Антон Николаевич, кандидат экономических наук, доцент кафедры бизнес-информатики и математических методов в экономике.

E-mail: antonkar2005@yandex.ru

Набережночелнинский институт Казанского федерального университета.

Россия, 423812, Набережные Челны, д. 68/19

Поступила в февраль 2018 г.

© Карамышев А.Н., 2018

A.N. Karamyshev

ANALYSIS OF PROCESS-BASED MANAGEMENT PROBLEMS BY LARGE INDUSTRIAL ENTERPRISES

Russian companies show considerable interest in the implementation and development of process management. Firstly, this is due to the economic feasibility of its application. Secondly, it is related to the opportunities that appear at every level of the process management system development. However, despite the obvious economic benefits from the use of process-based management, a significant part of the projects associated with its implementation and development is not successful at achieving the established goals. For this reason, the identification and analysis of negative factors, as well as searching for the ways to reduce their impact, are urgent tasks for industrial enterprises. This article analyses the most significant factors destructively affecting the development of process-based management, and provides statistical information on these factors.

Keywords: process management, industrial enterprise, factors, analysis.

REFERENCES

1. Koptelov A., Filatova M. Issledovanie ABPMP Russia «Rossijskij rynek BPM 2015» [Electronic resource]. URL: <http://abpmp.org.ru/> (accessed 30.03.2017).
2. Harmon P. A BPTrends Report «The State of Business Process Management-2016» [Electronic resource]. URL: www.bptrends.com (accessed 30.03.2017).
3. Karamyshev A.N. Sravnitel'nyj analiz metodologij processnogo upravlenija // Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2017, no. 7, pp. 194-197.
4. Karamyshev A., Makhmutov I., Utyaganov R. Problems of Institutionalization of the Process-Based Management in Industrial Enterprises // International Business Management, 2015, no. 9(6). pp. 1576-1579.
5. Ishmuradova I.I., Sibaeva G.R. Cifrovoe preobrazovanie biznes-processov, kak process organizacionnyh izmenenij predpriyatija v innovacionnoj jekonomike // Nauka Krasnojars'ja, 2016, no. 6-2 (29), pp. 92-97.
6. Amirhanov K.G. Biznes-processy promyshlennogo predpriyatija: ponjatie i klassifikacija // Innovacii v promyshlennom komplekse, 2005, pp. 140-149.
7. Rubcov S.V. Utochnenie ponjatija biznes-process // Menedzhment v Rossii i za rubezhom, 2001, no. 6.
8. Udalov F.E., Kuznecov V.P., Garina E.P. Izuchenie metodov processnogo upravlenija promyshlennym predpriyatiem // Vestnik Nizhegorodskogo universiteta im. N.I. Lobachevskogo. 2011. no. 5 (2). pp. 232-237. URL: <https://cyberleninka.ru/article/v/izuchenie-metodov-protsessnogo-upravleniya-promyshlennym-predpriyatiem>
9. Karamyshev A.N. Analiz sushhnosti processnogo podhoda k upravleniju predpriyatiem // Kompetentnost', 2017, no. 5, pp. 47-51
10. Karamyshev A.N. Analiz sushhestvujushih podhodov k upravleniju promyshlennym predpriyatiem // Vestnik VSGUTU, 2017, no. 3, pp. 111-115.
11. Repin V.V., Elifirov V.G. Processnyj podhod k upravleniju. Modelirovanie biznes-processov. M.: RIA «Standarty i kachestvo», 2008, 408 p.
12. Kremer N.Sh., Putko B.A., Trishin I.M., Fridman M.N. Issledovanie operacij v jekonomike: Ucheb. posobie dlja vuzov. M.: JuNITI, 2005, 407 p.
13. Karamyshev A.N. Sravnitel'nyj analiz metodologij processnogo upravlenija // Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2017, no. 7. pp. 194-197.

Information about the authors

Anton N. Karamyshev, PhD, Assistant professor.

E-mail: antonkar2005@yandex.ru

Naberezhnye Chelny Institute of Kazan Federal University
Russia, 423812, Naberezhnye Chelny, h. 68/19

Received in February 2018

Научное издание

**«Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова»
№ 3, 2018 г.**

Научно-теоретический журнал

**Ответственный за выпуск Н.И. Алфимова
Дизайн обложки Е.А. Гиенко**

Учредитель журнала – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова»
(БГТУ им. В.Г. Шухова)

Журнал зарегистрирован Министерством РФ по делам печати, телерадиовещания и средств массовой информации ПИ №ФС77-26533

Сдано в набор 08.02.18. Подписано в печать 23.03.18. Формат 60×84/8

Усл. печ. л. 16,62. Уч.-изд. л. 17,88.

Тираж 1000 экз. Заказ 152. Цена договорная.

Все публикуемые материалы представлены в авторской редакции.

Адрес редакции: г. Белгород, ул. Костюкова, 46, оф. 724/4 Гк.

Номер сверстан в редакции научно-теоретического журнала
«Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова».

Отпечатано в РИЦ БГТУ им. В.Г. Шухова