

Научно-практический сетевой журнал
Выходит 2 раза в год

Учредитель и издатель
Пензенский государственный
университет архитектуры
и строительства

Главная редакция:
В.А. Береговой (главный редактор)
Б.М. Гришин (заместитель
главного редактора)
И.Ю. Шитова (ответственный секретарь)

Адрес редакции:
440028, г. Пенза, ул. Германа Титова, 28,
ПГУАС
Тел/факс 8412 420501
E-mail: regas@pguas.ru
fmatem@pguas.ru
www.vestnikpguas.ru

Редакторы: М.А. Сухова,
Н.Ю. Шалимова

Дизайн обложки Л.А. Васин

Компьютерная верстка
Н.А. Сазонова

Перевод О.В. Гринцова

Журнал зарегистрирован
в Федеральной службе по надзору
в сфере связи, информационных
технологий и массовых коммуникаций
(Роскомнадзор)

Свидетельство о регистрации
Эл. № ФС77-61513 от 24 апреля 2015 г.

Авторы опубликованных материалов
несут ответственность за достоверность
приведенных сведений, точность данных
по цитируемой литературе и за исполь-
зование в статьях данных, не подлежа-
щих открытой публикации.

Редакция может опубликовать статьи
в порядке обсуждения, не разделяя точку
зрения автора.

ВЕСТНИК ПГУАС: СТРОИТЕЛЬСТВО, НАУКА И ОБРАЗОВАНИЕ 1(12)/2021

Содержание

СТРОИТЕЛЬСТВО. АРХИТЕКТУРА.....	4
Береговой В.А., Лавров И.Ю. МОДЕРНИЗАЦИЯ УСТРОЙСТВ ДЛЯ АДДИТИВНОЙ ПЕЧАТИ СТРОИТЕЛЬНОЙ КЕРАМИКИ.....	4
Береговой А.М., Шадрин И.В. СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОАКТИВНОСТИ И ТЕПЛОЙ ЗАЩИТЫ ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ МАЛОЭТАЖНЫХ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ.....	9
Глухова М.В., Глухов В.С. МАЛОЗАГЛУБЛЕННЫЕ ФУНДАМЕНТЫ МАЛОНАГРУЖЕННЫХ ЗДАНИЙ.....	13
Грачева Ю.В., Тарасеева Н.И., Крылов А.С. КАУСТИФИКАЦИОННЫЕ ГЕОСИНТЕТИЧЕСКИЕ ВЯЖУЩИЕ ДЛЯ ДОРОЖНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА.....	20
Кислицына С.Н., Логанина В.И. КОРРОЗИОННАЯ СТОЙКОСТЬ БЕТОНА ПРИ НАЛИЧИИ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ.....	27
Коровкин М.О., Короткова А.А., Ерошкина Н.А., Саденко С.М. ИССЛЕДОВАНИЕ ВОДОРЕДУЦИРУЮЩЕГО ЭФФЕКТА СУПЕРПЛАСТИФИКАТОРОВ В МЕЛКОЗЕРНИСТЫХ БЕТОННЫХ СМЕСЯХ, ПРИГОТОВЛЕННЫХ НА СМЕШАННЫХ ЦЕМЕНТАХ.....	32
Сенибабнов С.А., Андрианов К.А., Зубков А.Ф., Кузнецов А.А. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК АСФАЛЬТОГРАНУЛЯТА ПРИ УСТРОЙСТВЕ СЛОЕВ ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ.....	37
Туманов А.В., Иванцов Р.А., Пензяков В.Д., Шитова И.Ю. ПЕРСПЕКТИВЫ МНОГОЭТАЖНОГО ДЕРЕВЯННОГО СТРОИТЕЛЬСТВА ИЗ CLT-ПАНЕЛЕЙ В РОССИИ.....	43

Хвастунов В.Л., Махамбетова К.Н., Лавров И.Ю., Хвастунов А.В. ОБ ОПЫТЕ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СТАНИНЫ РАЗРЫВНОЙ МАЛОГАБАРИТНОЙ УСТАНОВКИ ИЗ ВЫСОКОПРОЧНОГО РЕАКЦИОННО-ПОРОШКОВОГО БЕТОНА С НИЗКИМ УДЕЛЬНЫМ РАСХОДОМ ЦЕМЕНТА НА ЕДИНИЦУ ПРОЧНОСТИ . 50	Тарасов Р.В., Прохоркина А.В. АКТУАЛИЗАЦИЯ КОНЦЕПЦИИ БЕРЕЖЛИВОГО ПРОИЗВОДСТВА МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ 80
СТАНДАРТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ57	ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ НАУКИ 86
Баукова Н.С., Максимова И.Н. АКТУАЛЬНОСТЬ ПРОВЕДЕНИЯ ФМЕА- АНАЛИЗА ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ, РАЗРАБАТЫВАЮЩЕЙ И ВЫПУСКАЮЩЕЙ ТЕПЛООБМЕННОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ 57	Солманидина Н.В., Гринцова О.В. СПОСОБЫ ПЕРЕВОДА БЕЗЭКВИВАЛЕНТНОЙ ЛЕКСИКИ ПРИ ДВУЯЗЫЧНОЙ КОММУНИКАЦИИ 86
Гарькин И.Н., Сазыкина О.А. МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ ПРОЕКТНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ 63	Солманидина Н.В., Гринцова О.В. К ВОПРОСУ О ПАРАДОКСАЛЬНЫХ ЯВЛЕНИЯХ В ГРАММАТИКЕ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ИНОСТРАННОГО ЯЗЫКА 92
Логанина В.И., Учаева Т.В. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РИСКИ ПРОИЗВОДСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ, ИЗДЕЛИЙ И КОНСТРУКЦИЙ 68	СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ, УПРАВЛЕНИЕ И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ (ПО ОТРАСЛЯМ).... 98
Макарова Л.В., Баукова Н.С. УПРАВЛЕНИЕ РИСКАМИ В ПРОЦЕССЕ «КОНСТРУКТОРСКАЯ ПОДГОТОВКА ПРОИЗВОДСТВА ИЗДЕЛИЯ» 73	Данилов А.М., Гарькина И.А., Перекусихина К.А. СИМУЛЯТОРЫ: МОДУЛЬНЫЙ ПРИНЦИП, СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД 98
	Данилов А.М., Гарькина И.А., Перекусихина К.А. АНАЛИТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ПИЛОТАЖНЫХ СВОЙСТВ И УПРАВЛЯЮЩИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ 104

Contents

CONSTRUCTION. ARCHITECTURE . 4	STANDARDIZATION AND QUALITY MANAGEMENT 57
Beregovoy V.A., Lavrov I.Yu. MODERNIZATION OF DEVICES FOR ADDITIVE PRINTING OF CONSTRUCTION CERAMICS 4	Baukova N.S., Maksimova I.N. RELEVANCE OF FMEA ANALYSIS CONDUCTING FOR AN ORGANIZATION DEVELOPING AND PRODUCING HEAT EXCHANGE EQUIPMENT FOR OIL AND GAS INDUSTRY 57
Beregovoy A.M., Shadrin I.V. WAYS OF INCREASING ENERGY EFFICIENCY AND THERMAL PROTECTION OF OPERATED LOW-RISE RESIDENTIAL BUILDINGS 9	Garkin I.N., Sazykina O.A. METHODS OF INCREASING THE COMPETITIVENESS OF A DESIGN ORGANIZATION IN CONSTRUCTION 63
Glukhova M.V., Glukhov V.S. THE LOW DEEP FOUNDATION OF LIGHTLY LOADED BUILDING 13	Loganina V.I., Uchaeva T.V. TECHNOLOGICAL RISKS OF BUILDING MATERIALS PRODUCTION, PRODUCTS AND STRUCTURES 68
Gracheva Yu.V., Taraseeva N.I., Krylov A.S. CAUSTIFICATION GEOSYNTHETIC BINDERS FOR ROAD CONSTRUCTION 20	Makarova L.V., Baukova N.S. RISK MANAGEMENT IN THE PROCESS OF «DESIGN PREPARATION OF PRODUCTS PRODUCTION» 73
Kislitsyna S.N., Loganina V.I. CORROSION RESISTANCE OF CONCRETE WITH PROTECTIVE COATINGS 27	Tarasov R.V., Prokhorkina A.V. UPDATING LEAN PRODUCTION CONCEPT AT MACHINE-BUILDING ENTERPRISES 80
Korovkin M.O., Korotkova A.A., Eroshkina N.A., Sadenko S.M. STUDY OF THE WATER-REDUCING EFFECT OF SUPERPLASTICIZERS IN FINE-GRAINED CONCRETE MIXTURES PREPARED WITH MIXED CEMENTS 32	PEDAGOGICAL SCIENCES 86
Senibabnov S.A., Andrianov K.A., Zubkov A.F., Kuznetsov A.A. DETERMINATION OF RHEOLOGICAL CHARACTERISTICS OF ASPHALTOGRANULATE IN THE ARRANGEMENT OF PAVEMENT LAYERS 37	Solmanidina N.V., Grintsova O.V. TRANSLATION OF NON-EQUIVALENT VOCABULARY IN BILINGUAL COMMUNICATION 86
Tumanov A.V., Ivantsov R.A., Penzyakov V.D., Shitova I.Yu. THE PROSPECTS OF MULTI-STOREY WOODEN CONSTRUCTION FROM CLT-PANELS IN RUSSIA 43	Solmanidina N.V., Grintsova O.V. PARADOXAL PHENOMENA IN GRAMMAR WHEN LEARNING A FOREIGN LANGUAGE 92
Khvastunov V.L., Makhambetova K.N., Lavrov I.Yu., Khvastunov A.V. ON THE EXPERIENCE OF MANUFACTURING A BEDPLATE OF A COMPACT EXPLOSIVE INSTALLATION FROM HIGH-STRENGTH REACTION-POWDER CONCRETE WITH A LOW SPECIFIC CONSUMPTION OF CEMENT PER A UNIT OF STRENGTH 50	SYSTEM ANALYSIS, MANAGEMENT AND INFORMATION PROCESSING (ON BRANCHES) 98
	Danilov A.M., Garkina I.A., Perekusikhina K.A. SIMULATORS: MODULAR PRINCIPLE, SYSTEM APPROACH 98
	Danilov A.M., Garkina I.A., Perekusikhina K.A. ASSESSMENT ANALYTICAL METHODS OF PILOTING PROPERTIES AND CONTROL ACTIONS 104

СТРОИТЕЛЬСТВО. АРХИТЕКТУРА

CONSTRUCTION. ARCHITECTURE

УДК 666.6:681.625.9

*Пензенский государственный университет
архитектуры и строительства*

Россия, 440028, г. Пенза,
ул. Германа Титова, д.28,
тел.: (8412) 48-27-37; факс: (8421) 48-74-77

Береговой Виталий Александрович,
доктор технических наук, профессор,
зав. кафедрой «Технология строительных
материалов и деревообработки»

Лавров Иван Юрьевич,
магистрант
E-mail: techbeton@pguas.ru

*Penza State University of Architecture
and Construction*

Russia, 440028, Penza, 28, German Titov St.,
tel.: (8412) 48-27-37; fax: (8412) 48-74-77

Beregovoy Vitaly Aleksandrovich,
Doctor of Sciences, Professor, Head of the
department «Building materials and woodworking
technology»

Lavrov Ivan Yurievich,
Undergraduate
E-mail: techbeton@pguas.ru

МОДЕРНИЗАЦИЯ УСТРОЙСТВ ДЛЯ АДДИТИВНОЙ ПЕЧАТИ СТРОИТЕЛЬНОЙ КЕРАМИКИ

В.А. Береговой, И.Ю. Лавров

Рассмотрены основные тенденции в области создания устройств, предназначенных для 3D-печати строительной керамики. На примере сконструированного авторами универсального печатающего устройства приведены технические особенности основных агрегатов в сравнении с существующими аналогами. С учетом современного уровня техники и технологий сформулирован перечень показателей, по которым целесообразно проводить модернизацию принтеров для аддитивной печати глиняными массами.

Ключевые слова: аддитивные технологии, универсальное технологическое устройство, строительная керамика, патентование

MODERNIZATION OF DEVICES FOR ADDITIVE PRINTING OF CONSTRUCTION CERAMICS

V.A. Beregovoy, I.Yu. Lavrov

The article discusses the main trends in the field of creating devices designed for 3D printing of building ceramics. On the example of a universal printing device designed by the authors, the technical features of the main units in comparison with existing analogues are described. Taking into account the current state of technology, a list of indicators has been formulated according to which it is advisable to modernize printers for additive printing with clay masses.

Keywords: additive technologies, universal technological device, construction ceramics, patenting

В настоящее время происходит широкое внедрение цифровых технологий в производство строительных материалов и конструкций. Это повышает актуальность проведения патентных исследований с целью выявления показателей, по которым осуществляется модернизация конструкций строительных принтеров. Анализ достигнутого уровня техники и технологий показывает, что разработчики 3D-принтеров уделяют внимание совершенствованию отдельных узлов и агрегатов, обеспечивающих повышение точности позиционирования экструдера, скорости печати, качества поверхности изделий, а также приданию принтерам новых несвойственных им изначально функций.

Выбор типа процесса формирования трехмерных изделий по технологии наращивания зависит от строительного материала, используемого с этой целью. Для печати полимерами применяют технологию печати объектов расплавленной полимерной нитью FDM (Fused Deposition Modeling), предусматривающую экструзию расплавленного пластика на поверхность рабочего стола [1, 2]. В производстве изделий для пищевой промышленности находит применение биоразлагаемый пластик, вырабатываемый из сельскохозяйственного сырья (кукуруза, сахарный тростник и т.п.).

Экологичность процесса и возможность многократного использования строительного материала [3] обеспечивают существенное преимущество 3D-принтерам, работающим на глинах. Аддитивная печать керамических изделий базируется на технологии LDM (Liquid Deposition Modeling) от компании-производителя 3D-принтеров WASP. Технология LDM заключается в применении экструдера, в который под давлением нагнетается минеральная суспензия. Процесс экструдирования через фильеру осуществляется с помощью шнекового винта. За счет адгезии слои глины соединяются между собой и, высыхая, придают прочность керамическому сырцу. Принтеры WASP сконструированы по дельта-кинематической схеме и оборудованы неподвижной площадкой, обеспечивающей сохранность напечатанного объекта. Основу конструкции привода составляют три рычага, прикрепленные посредством карданных шарниров к базе. Конструкциям принтеров на основе дельта-кинематики свойственен недостаток жесткости, что не позволяет придавать им новые технологические функции, связанные с обработкой материала резанием.

При конструировании промышленных принтеров строительного назначения, испытывающих в процессе работы значительные механические нагрузки, актуальной остается классическая компоновка, основанная на применении картезианской схемы, обладающей преимуществами по точности позиционирования и пространственной жесткости. Строительные принтеры укладывают бетонную смесь с помощью экструдера, установленного на прочной подвижной порталной конструкции. В работе [4] приводится устройство мобильного строительного 3D-принтера. Недостатком приведенного решения являются избыточные масса и металлоемкость, а также отсутствие возможности печати изделий небольшого размера с высокой степенью детализации. В патенте [5] печатающей головкой является комплект из трех стекловаренных печей для теплоизоляционного и конструкционного слоев стен здания, а также стальной арматуры.

Анализ патентных данных свидетельствует о том, что основные усилия разработчиков направлены на ускорение процесса перемещения экструдера и повышение точности его позиционирования за счет модернизации узлов и агрегатов приводных механизмов. При этом используют схему перемещения экструдера по всем осям при неподвижном рабочем столе или схему, в которой перемещение печатающей головки ограничено горизонтальной плоскостью, а вертикальное перемещение обеспечивается дискретной перестановкой рабочего стола.

Существенный недостаток, характерный для большинства решений в области 3D-печати, является следствием послойного способа формирования изделия. В результате наращивания отдельных слоев на внешней поверхности формируется неоднородный рельеф, ухудшающий архитектурно-декоративные качества напечатанного изделия. Частичное решение заключается в уменьшении толщины укладываемого слоя.

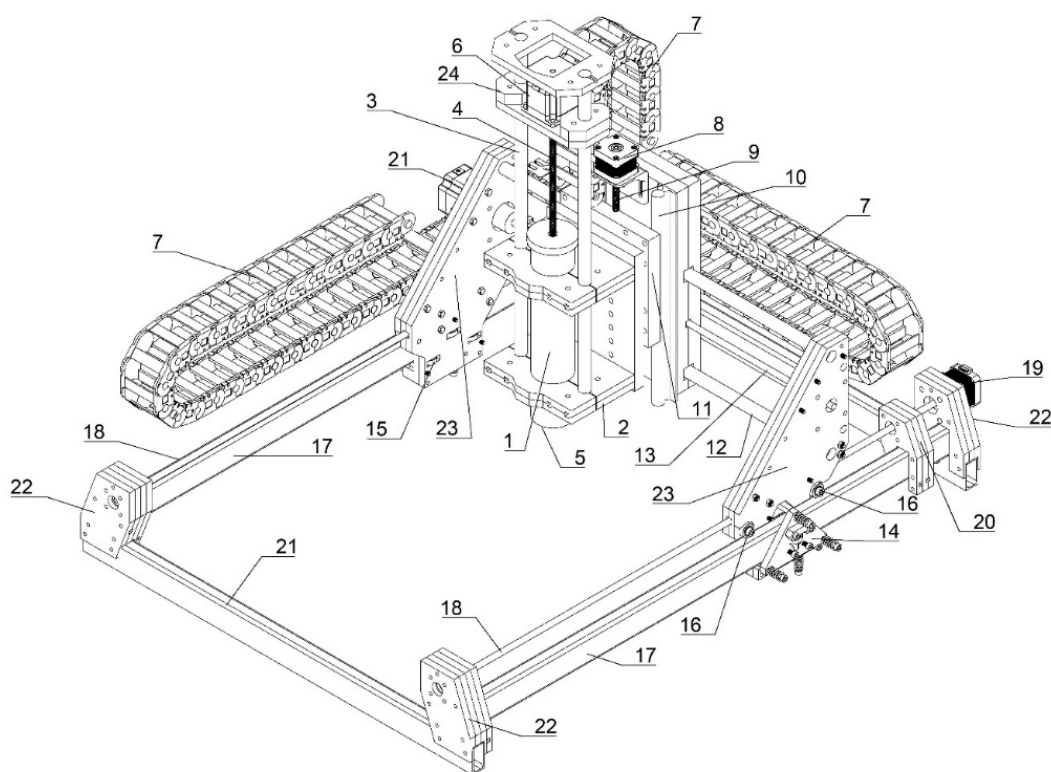
Однако это приводит к существенному замедлению процесса печати и увеличению его энергоемкости, не обеспечивая получение совершенно гладкой поверхности.

Метод послойной печати начинается с подготовки компьютерного описания 3D-модели в специализированных САПР-системах (3DMax, Fusion 360 и т.п.) [6]. Режимы печати настраиваются с учетом реологических особенностей используемой глины и включают параметры скорости печати, высоту и толщину наращиваемого слоя, наполняемость модели материалом. В настоящее время в большинстве случаев для печати используют формат файла STL.

Обобщая сказанное выше, приходим к выводу, что модернизацию принтеров для аддитивной печати глиняными массами целесообразно проводить, опираясь на возможности LDM-технологии, совмещая ее с портальной компоновочной схемой. Это дает возможность повышения точности позиционирования экструдера, а также последующей модернизации установки путем придания ей большей универсальности за счет новых функций.

В качестве примера опыта модернизации принтера можно привести заявку на изобретение универсального печатающего устройства, разработанного на кафедре ТСМиД (ПГУАС) [6, 7]. Предлагаемые технические решения направлены на расширение перечня материалов, используемых для аддитивной печати, повышение качества поверхности изделий, увеличение скорости печати, а также придание печатному устройству нового функционала – фрезерной обработки.

Конструкция универсального 3D-принтера представлена на рисунке.



Универсальный 3D-принтер:

- 1 – поршневой экструдер; 2 – крепление экструдера; 3 – направляющие экструдера;
- 4 – ходовой винт экструдера; 5 – фильера; 6 – ШД экструдера; 7 – гибкие кабель-каналы;
- 8 – ШД оси Z; 9 – ходовой винт оси Z; 10 – направляющие оси Z; 11 – пластина крепления рабочего органа; 12 – направляющие оси X; 13 – ходовой винт оси X; 14 – компенсационный узел; 15, 16 – подшипники каретки портала; 17 – направляющие оси Y; 18 – ходовой винт оси Y; 19 – шаговые двигатели оси Y; 20 – опоры ходовых винтов; 21 – станина;
- 22 – соединительные элементы станины; 23 – боковины портала;
- 24 – подвижная втулка скольжения

В качестве несущих элементов станины используются профильные трубы прямоугольного сечения 21, а также соединительные элементы 22. Главным рабочим органом установки является экструдер поршневого типа 1. Экструзия осуществляется через фильеру 5 посредством поршня, подаваемого ходовым винтом 4. Вращение ходового винта производится шаговым двигателем 6 через упругую втулочно-пальцевую муфту.

Передача осевого усилия от винта к поршню реализуется через радиально-упорный подшипник. Опускание и подъем системы «поршень – ходовой винт – шаговый двигатель» происходят по цилиндрическим направляющим 3 с использованием втулок скольжения 24.

За перемещение экструдерного узла по оси Z отвечает система шагового линейного привода, состоящая из шагового двигателя 8, ходового трапецеидального винта 9, цилиндрических рельсовых направляющих с каретками. Передача усилия от ходовой гайки передаётся пластине 11, на которой закреплен экструдерный узел или хомут с электрошпинделем. Перемещение по оси X реализуется аналогичным образом.

Для перемещения портала вдоль оси Y служат синхронизированные шаговые двигатели 19, трапецеидальные ходовые винты 18, направляющие 17 из профильных труб (по ГОСТ 8645-68) и каретки 23, являющиеся боковинами портала. Ходовые гайки встроены в конструкцию боковин портала. Конструкция кареток содержит подпружиненный узел 14, обеспечивающий постоянный контакт подшипников 15, 16 каретки с направляющей, что компенсирует отклонения их поперечных размеров по длине.

В ы ы о д ы . Анализ опубликованных данных показывает, что при модернизации принтеров для аддитивной печати глиняными массами целесообразно рассматривать в качестве приоритетной LDM-технологии с порталной компоновочной схемой основных агрегатов. Это обеспечивает точность позиционирования экструдера, а также модернизацию установки путем придания ей большей универсальности за счет фрезерной обработки, в т.ч. обработки поверхности напечатанного изделия. Для этого в конструкции принтера должна быть предусмотрена возможность замены быстросъемного экструдера на электрический шпиндель с предустановленной фрезой.

Достижимые за счет дополнительной опции фрезерования технические результаты заключаются в снижении энергозатрат на процесс печати, а также возможности существенной диверсификации видов получаемой продукции (изготовление барельефов, форм для отливки, элементов конструкции приборов).

Список литературы

1. Устройство перемещения печатающей головки для 3D-принтера: пат. 2 552 235 С1 Рос. Федерация: МПК В41F17/00, опубл. 10.06.2015.
2. 3D-принтер: пат. RU2649738 С1 Рос. Федерация: МПК В41F17/00, В29С67/00, опубл. 04.04.2018.
3. Береговой, В.А. Эффективные пенокерамобетоны общестроительного и специального назначения: дис. ... доктора технических наук: 05.23.05 / В.А. Береговой. – Пенза: ПГУАС, 2012.
4. Мобильный строительный 3D-принтер: пат. 2636980 С1 Рос. Федерация: МПК E04G21/04, В33Y30/00, В33Y40/00, В29С67/00, опубл. 29.11.2017.
5. Способ трехмерной печати зданий и устройство для его осуществления: пат. 2 618 235С1 Рос. Федерация: МПК E04G21/16, опубл. 03.05.2017.
6. Береговой, В.А. 3D-принтер для печати строительной керамики с опцией фрезерования изделий / В.А. Береговой, И.Ю. Лавров, Д.А. Дубинин, А.А. Горохова // Строительство: новые технологии – новое оборудование. – 2020. – № 6. – С. 34–45.
7. Береговой, В.А. 3D-принтер для печати строительной керамики / В.А. Береговой, И.Ю. Лавров // Региональная архитектура и строительство. – 2020. – № 1. – С. 32–37.

References

1. Printhead displacement device for 3D printer: pat. 2 552 235 C1 Rus. Federation: IPC B41F17/00, publ. 10.06.2015.
2. 3D printer: pat. RU2649738 C1 Rus. Federation: IPC B41F17/00, B29C67/00, publ. 04.04.2018.
3. Beregovoy, V.A. Effective foam concrete for general construction and special purposes: dis. ... Doctor of Sciences: 05.23.05 / V.A. Beregovoy. – Penza: PSUAC, 2012.
4. Mobile construction 3D printer: pat. 2636980 C1 Rus. Federation: IPC E04G21 / 04, B33Y30/00, B33Y40/00, B29C67/00, publ. 29.11.2017.
5. The method of three-dimensional printing of buildings and the device for its implementation: pat. 2 618 235C1 Rus. Federation: IPC E04G21/16, publ. 03.05.2017.
6. Beregovoy, V.A. 3D printer for printing construction ceramics with the option of milling products / V.A. Beregovoy, I.Yu. Lavrov, D.A., Dubinin A.A. Gorokhova // Construction: new technologies – new equipment. – 2020. – №. 6. – P. 34–45.
7. Beregovoy, V.A. 3D printer for printing construction ceramics / V.A. Beregovoy, I.Yu. Lavrov // Regional architecture and engineering. – 2020. – №. 1. – P. 32–37.

УДК [72+69] : 620.91 – 049.35

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

Россия, 440028, г. Пенза,
ул. Германа Титова, д.28,
тел.: (8412) 48-27-37; факс: (8421) 48-74-77

Береговой Александр Маркович,
доктор технических наук, профессор
кафедры «Городское строительство
и архитектура»
E-mail: ambereg@rambler.ru

Шадрин Игорь Васильевич,
студент
E-mail: igorshadrin2505@gmail.com

*Penza State University of Architecture
and Construction*

Russia, 440028, Penza, 28, German Titov St.,
tel.: (8412) 48-27-37; fax: (8412) 48-74-77

Beregovoy Aleksandr Marcovich,
Doctor of Sciences, Professor of the department
«Urban construction and Architecture»
E-mail: ambereg@rambler.ru

Shadrin Igor Vasilyevich,
student
E-mail: igorshadrin2505@gmail.com

СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОАКТИВНОСТИ И ТЕПЛОВОЙ ЗАЩИТЫ ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ МАЛОЭТАЖНЫХ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ

А.М. Береговой, И.В. Шадрин

По результатам натурных и экспериментальных исследований, а также расчетного моделирования рассмотрены способы энергосбережения малоэтажных жилых зданий в рамках двух подходов к исследуемой проблеме: использование возобновляемых источников энергии и повышение тепловой защиты наружных ограждающих конструкций. В качестве способов предложены энергоактивная конструкция по типу плоского солнечного коллектора, система тонкостенных бетонных каналов и воздухопровод с циркуляцией воздуха в подземном помещении дома. Дано обоснование величины теплотерь при эксфильтрации теплого воздуха через чердачное перекрытие с низким сопротивлением воздухопроницанию в зданиях старой застройки.

Ключевые слова: малоэтажные жилые здания, наружные ограждающие конструкции, тепловая защита, возобновляемые источники энергии

WAYS OF INCREASING ENERGY EFFICIENCY AND THERMAL PROTECTION OF OPERATED LOW-RISE RESIDENTIAL BUILDINGS

A.M. Beregovoy, I.V. Shadrin

Based on the results of field and experimental studies, as well as computational modeling, the methods of energy saving in low-rise residential buildings are considered within the framework of two approaches to the problem of study: the use of renewable energy sources and increasing the thermal protection of external enclosing structures. As methods, the authors have proposed an energy-active structure of the type of a flat solar collector, a system of thin-walled concrete channels and an air duct with air circulation in the underground room of the house. The justification of the value of heat loss during exfiltration of warm air through the attic floor with low resistance to air permeability in old buildings is given.

Keywords: low-rise residential buildings, external enclosing structures, thermal protection of buildings, renewable energy sources

Экологически привлекательные и удобные для проживания малоэтажные жилые дома за последние годы строятся во все больших объемах, достигающих в отдельных регионах 30...40 % от всех строящихся жилых зданий.

Однако эти здания, в отличие от многоэтажных, имеют большие значения коэффициента компактности формы и в среднем более чем двукратный рост показателя

удельных тепловых потерь и стоимости отопления. Еще большей энергопотребностью отличаются здания старой застройки, в которых после долговременной эксплуатации значительно ухудшились состояние тепловой защиты и параметры микроклимата помещений, что быстро приближает их к границе ветхого и аварийного жилья.

Исследования по термомодернизации таких зданий показывают, что наибольший эффект дают способы энергосбережения, отвечающие двум подходам [1...3]:

- использование возобновляемых источников энергии (в том числе тепло солнечной радиации и верхних слоев земли);
- повышение тепловой защиты наружных ограждающих конструкций.

Разработка и совершенствование таких способов и входили в задачу настоящего исследования.

Преимущества использования возобновляемых источников энергии в проектном решении малоэтажного дома наглядно подтверждаются результатом выполненного расчета доли тепла f солнечной радиации в общей тепловой нагрузке здания при использовании энергоактивной конструкции по типу плоского солнечного коллектора [3]. Увеличение доли тепла f в таком здании объясняется его небольшой тепловой нагрузкой, приходящейся на относительно ограниченный объем отопления.

Эффективность η энергоактивной конструкции в процессе проведения ее испытаний и тепловую потребность Q_{h^y} , МДж, здания находили по следующим формулам [1]:

$$\eta = Q_u / A \cdot I_T, \quad (1)$$

где
$$Q_u = A \cdot G \cdot c_o \cdot \gamma (T_{\text{вых}} - T_{\text{вх}}), \quad (2)$$

или
$$\eta = Q_u / A \cdot I_T = F_R (\tau \cdot \alpha)_n - F_R \cdot U_L (T_{\text{вх}} - T_a) / I_T, \quad (3)$$

$$f = 100 \cdot Q_T / L,$$

$$Q_{h^y} = Q_h^y - (Q_h^y \cdot f / 100),$$

где G – расход теплоносителя на 1 м² конструкции, л/с; c_o – удельная теплоемкость теплоносителя, Дж/(кг·°C); γ – плотность теплоносителя, кг/л; $T_{\text{вых}}$ – температура теплоносителя на выходе из конструкции, °C; Q_T – тепловая эффективность конструкции за отопительный период; L – сумма тепловых нагрузок системы отопления за этот период.

Результаты испытаний энергоактивной конструкции показали, что в малоэтажном здании с площадью отопления до 120 м² доля поступающего солнечного тепла f может составить 15 %.

Для использования тепла верхних слоев земли были составлены две расчетные модели, в первой из которых холодный атмосферный воздух проходил через систему подземных тонкостенных бетонных каналов и поступал в воздушную систему отопления помещения первого этажа [3].

$$t_x = t - (t_c - t_n) e^{-Ax}, \quad (4)$$

$$G_k = 82,8;$$

$$Q_n = C \cdot G (t_n - t_n), \quad (5)$$

где t_n – температура воздуха на выходе из воздухораспределителя, °C; t_x – среднесуточные значения температуры воздуха в сечении x канала, °C; G_k – количество воздуха, проходящего через канал при ширине δ_x и высоте δ_y , кг/ч; Q_n – количество тепла на подогрев воздуха, кДж/ч; t_n – температура воздуха на выходе из воздухораспределителя, °C.

В результате решения этой модели было установлено, что в зависимости от сечения и количества каналов температура воздуха $t_{\text{вх}}$ на входе в систему воздушного

отопления значительно варьируется. Так, при температуре наружного воздуха $t_n = -30^\circ\text{C}$ эта температура для одного канала (20×100 см) составляет -25°C , а для восьми каналов (10×25 см) -12°C . В жилом доме с площадью отопления 120 м^2 при увеличении числа каналов с 1 до 8 температура воздуха $t_{\text{вк}}$ повышается в два раза за счет большей площади соприкосновения поверхности каналов с землей, а доля тепла верхнего слоя земли возрастает с 26 до 40 % в общей величине тепловой нагрузки системы воздушного отопления здания.

Вторая расчетная модель составлена по результатам эксперимента в натуральных условиях, проведенного с использованием воздуховода, с целью утилизации тепла подвального пространства для подогрева помещения первого этажа [4].

$$t_x = t_c - (t_c - t_n) \cdot e^{-Ax}. \quad (6)$$

$$Q = 0,28 \cdot w_{\text{вент}} \cdot \gamma_n \cdot c_v \cdot (t_b - t_n), \quad (7)$$

$$w_{\text{вент}} = 3600 \cdot v_{\text{вп}} \cdot \rho_{\text{вп}} \cdot S \cdot c_v, \quad (8)$$

где t_b и t_n – температура внутреннего и наружного воздуха, $^\circ\text{C}$; $w_{\text{вент}}$ – расчетный расход воздуха, кг/ч; t_x – температура нагреваемого воздуха в сечении x воздуховода, $^\circ\text{C}$ (см. рисунок); Q – количество тепла на подогрев наружного холодного воздуха в объеме $w_{\text{вент}}$, кг/ч; t_b и t_n – температура внутреннего и наружного воздуха, $^\circ\text{C}$; $v_{\text{вп}}$ и $\rho_{\text{вп}}$ – скорость, м/с, и плотность, $\text{кг}/\text{м}^3$, воздуха в воздуховоде; S – площадь сечения воздуховода, м^2 ; c_v – удельная теплоемкость воздуха, равная $1,005 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$.



Изменение величины t_x по длине воздуховода (скорость воздуха 1 м/с)

Расчет показал, что экономия тепловой энергии на отопление помещений с площадью $11 \dots 60 \text{ м}^2$ находится в пределах $11 \dots 48 \%$.

Для оценки второго подхода к энергосбережению в г. Пензе были проведены натурные обследования двухэтажных жилых зданий, построенных в 50-х годах прошлого столетия; в результате были выявлены сильное снижение тепловой защиты чердачных перекрытий с насыпным утеплителем и заметное (на $2 \dots 3^\circ\text{C}$) падение температуры помещений второго этажа в зимнее время.

Составленная расчетная модель позволила определить потери тепла при эк- фильтрации воздуха через данное ограждение [5].

$$q_u = \frac{c_b \cdot w \cdot e^{c_b \cdot w \cdot R}}{e^{c_b \cdot w \cdot R_0} - 1} \cdot (t_b - t_n), \quad (9)$$

$$\omega = \Delta p / R_u, \quad (10)$$

$$R_u = R_{u1} + R_{u2} + \dots + R_{un},$$

где $t_{в}$ и $t_{н}$ – наружная и внутренняя температура воздуха по обе стороны перекрытия, °С; $c_{в}$ – удельная теплоемкость воздуха, Дж/(кг·°С); ω – количество эксфильтрующегося воздуха, кг/(м²·ч).

Результаты расчета показали, что тепловые потери через чердачные перекрытия обследованных зданий выросли в среднем в 3,5 раза по сравнению с предусмотренным в проекте решением.

Список литературы

1. Береговой, А.М. Наружные ограждающие конструкции, адаптированные к использованию энергии природной среды / А.М. Береговой, А.П. Прошин, В.А. Береговой, А.В. Гречишкин // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2005. – № 2. – С. 4–8.
2. Езерский, В.А. Технико-экономическая оценка термомодернизации жилых зданий / В.А. Езерский, П.В. Монастырев, Р.Ю. Клычников. – М.: АСВ, 2011. – 176 с.
3. Береговой, А.М. Энергоэкономичные и энергоактивные здания в архитектурно-строительном проектировании / А.М. Береговой, А.В. Гречишкин, В.А. Береговой. – Пенза: ПГУАС, 2012. – 200 с.
4. Береговой, А.М. Использование тепла подземных помещений в энергосбережении / А.М. Береговой, М.А. Дерина // Региональная архитектура и строительство. – 2016. – №1. – С. 85–89.
5. Береговой, А.М. Оценка тепловых потерь при эксфильтрации воздуха через пористую структуру материала ограждения / А.М. Береговой, М.А. Дерина, В.А. Береговой, А.В. Мальцев // Региональная архитектура и строительство. – 2014. – №2. – С. 79–83.

References

1. Beregovoy, A.M. External enclosing structures, adapted to the use of natural environment energy / A.M. Beregovoy, A. P. Proshin, V.A. Beregovoy, A.V. Grechishkin // News of higher educational institutions. Construction. – 2005. – No. 2. – P. 4–8.
2. Yezersky, V.A. Technical and economic assessment of thermomodernization of residential buildings / V.A. Yezersky, P. V. Monastyrev, R.Yu. Klychnikov. – M.: Publishing House of the DIA, 2011. – 176 p.
3. Beregovoy, A.M. Energy-efficient and energy active buildings in architecture and building engineering / A.M. Beregovoy, A.V. Grechishkin, V.A. Beregovoy. — Penza: PGUAS, 2012. – 200 p.
4. Beregovoy, A.M. Using of underground rooms heat in energy saving /A.M. Beregovoy, M.A. Derina, B.A. Beregovoy, A.V. Maltsev // Regional architecture and engineering. – 2016. – No.1. – P. 85–89.
5. Beregovoy, A.M. Evaluation of heat losses during exfiltration of air through the porous structure of the material of the enclosure structure / A.M. Beregovoy, M.A. Derina, B.A. Beregovoy, A.V. Maltsev // Regional architecture and engineering. – 2014. – No.2. – P. 79–83.

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

Россия, 440028, г. Пенза,
ул. Германа Титова, д.28,
тел.: (8412) 48-27-37; факс: (8421) 48-74-77

Глухова Мария Вячеславовна,
ст. преподаватель кафедры «Геотехника
и дорожное строительство»
E-mail: glukhova.mary@mail.ru

Глухов Вячеслав Сергеевич,
кандидат технических наук, доцент,
зав. кафедрой «Геотехника и дорожное
строительство»
E-mail: gds@pguas.ru

*Penza State University of Architecture
and Construction*

Russia, 440028, Penza, 28, German Titov St.,
tel.: (8412) 48-27-37; fax: (8412) 48-74-77

Glukhova Mariia Viacheslavovna,
Assistant professor of the Department
«Geotechnics and Road Construction»
E-mail: glukhova.mary@mail.ru

Glukhov Viacheslav Sergeevich,
Candidate of Science, Associate Professor,
Head of the Department «Geotechnics and Road
Construction»
E-mail: gds@pguas.ru

МАЛОЗАГЛУБЛЕННЫЕ ФУНДАМЕНТЫ МАЛОНАГРУЖЕННЫХ ЗДАНИЙ

М.В. Глухова, В.С. Глухов

При проектировании фундаментов малоагруженных зданий поставлена задача выбора эффективного варианта с учетом просадочных свойств основания. Предложено устройство малоаглубленных ленточных железобетонных фундаментов на комбинированной песчано-щебенистой подушке, что служит обоснованием заглубления подошвы в слой сезоннопромерзающего грунта. При учете морозопасности основания определяющим является расчет основания по деформациям. Авторами предложено рассчитывать осадку фундамента по методу М. В. Малышева с учетом нелинейной работы грунтового основания для давления, превышающего расчетное сопротивление грунта. Полученные осадки с учетом нелинейности не превышают предельно допустимые значения. Фундамент запроектирован из условия надежной работы при передаче на комбинированную подушку давления в пределах 25,0 тс/м². Приведенный вариант малоаглубленного фундамента актуален для зданий с диапазоном нагрузок от стен порядка 6,0–10,0 тс/мп.

Ключевые слова: малоаглубленный фундамент, пучинистый грунт, морозное пучение, песчаная подушка, комбинированная подушка, осадка с учетом нелинейности

THE LOW DEEP FOUNDATION OF LIGHTLY LOADED BUILDING

M.V. Glukhova, V.S. Glukhov

When designing lightly loaded buildings foundations the task was to select an effective option taking into account the soil subsidence properties. A low deep strip reinforced concrete foundations on a combined sand-pebble cushion are proposed, which serve as a justification for the foundation bottom deepening into a layer of seasonally freezing soil. The deformation calculation is decisive when the base frost is hazard. The authors proposed to find the foundation settlement by the M.V. Malyshev method taking into account the nonlinear work of the basement soil, for a pressure exceeding the estimated soil resistance. The resulting settlement with the nonlinearity does not exceed the maximum permissible values. The foundation is designed for reliable work and transfers the load up to 25.0 tf / m² to the combined cushion . The given variant of a shallow foundation is relevant for buildings with loads from the walls of 6.0 ÷ 10.0 tf / m.

Keywords: low deep foundation, heaving soil, soil frost heaving, sand cushion, combined cushion, base settlement with nonlinearity

Введение. Отличительной особенностью современного человека является мобильность и техническая доступность из любой точки мира, что позволяет вести рабочую деятельность дистанционно и осваивать территории, расположенные на значительном расстоянии от деловых центров мегаполисов. Все больше малоэтажные жилые комплексы и коттеджные поселки формируют пригороды больших городов, таких, как Самара.

В статье рассматривается техническое решение по устройству малозаглубленных фундаментов малонагруженного здания в пос. Приморский, Ставропольского р-на, Самарской обл. Проектирование ведется в рамках проекта пяти вариантов одно- и двухэтажных индивидуальных жилых домов площадью 80–200 м² коттеджного поселка на 300 домов ООО «Единение» (рис. 1).

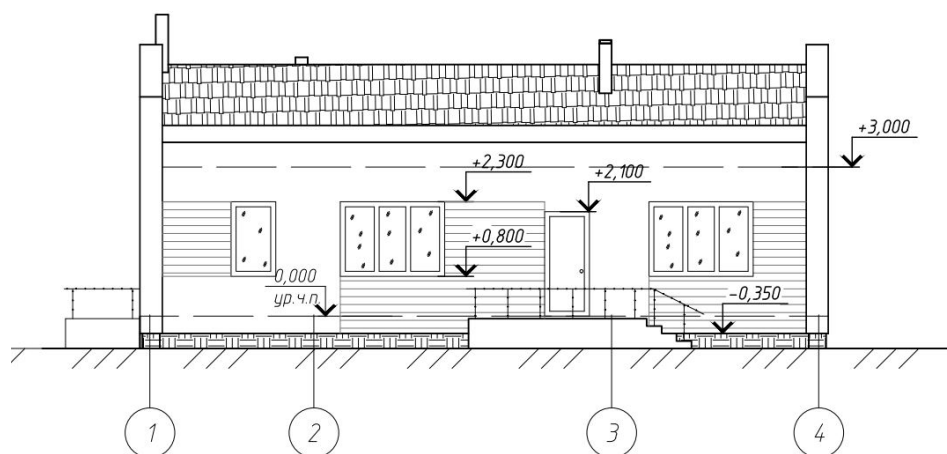


Рис. 1. Фасад индивидуального одноэтажного жилого дома площадью 113 м²

Особенностью геологического строения площадки строительства является несущий слой твердого суглинка слабопросадочного (I тип просадочности) мощностью 8,8 м со следующими характеристиками:

- показатель текучести $I_L = -0,41$;
- модуль деформации в сухом состоянии $E = 14,0$ МПа, при водонасыщении $E_w = 8,0$ МПа;
- начальное просадочное давление $P_{st} = 150$ кПа.

Актуальной проблемой при строительстве указанных домов является обоснование и разработка экономически эффективного проектного решения по устройству фундаментов на сезоннопромерзающих пучинистых грунтах. В рассматриваемом случае небольшие нагрузки от надземной части порядка 6,0–10,0 тс/мп обуславливают повышенную чувствительность зданий к силам морозного пучения и необходимость учета пространственной жесткости конструкции фундаментов [1, 2]. Эта проблема резко проявляется в районах с глубоким сезонным промерзанием пучинистых грунтов, таких, как Вологда, Челябинск, Хабаровск, Западная Сибирь [3, 4, 5].

Согласно рекомендациям по проектированию и расчету малозаглубленных фундаментов на пучинистых грунтах, подготовленным НИИОСП им. Н.М. Герсеванова (М., 1985), под малозаглубленными фундаментами на морозоопасном грунтовом основании понимаются фундаменты, глубина заложения подошвы которых не превышает нормативной глубины сезонного промерзания грунта в рассматриваемой климатической зоне.

При проектировании малозаглубленных фундаментов выполняется расчет морозоопасных оснований по второй группе предельных состояний (по деформациям), когда расчетами определяются как осадка фундаментов, так и деформации основания от морозного пучения грунта, промерзающего под фундаментом.

Осадки фундаментов и неравномерные деформации грунта под подошвой не должны превышать предельно допустимые перемещения, величина которых назначается в зависимости от конструктивных особенностей зданий. Расчет осадки фундаментов производится в соответствии с требованиями СП 22.13330.2016 «Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83*».

К пучинистым относятся все пылевато-глинистые грунты, мелкие и пылеватые пески. Оценка степени пучинистости и прогнозирование процесса выпучивания грунта осложнены учетом нелинейной работы грунтового основания и необходимостью в лабораторных исследованиях [6, 7]. Крупнообломочные грунты с песчаным заполнителем, пески гравелистые, крупные и средние считаются непучинистыми грунтами при любом уровне безнапорных подземных вод.

Известны случаи в Пермском крае, подтвержденные аналитическими расчетами, о достижении нормальными напряжениями морозного пучения величины до 700 кПа [8, 9].

Выбор типа и конструкции фундамента. Для зданий с малонагруженными фундаментами целесообразно применять конструктивные решения, которые способствуют снижению влияния сил морозного пучения и деформаций конструкций зданий, а также приспособлению здания к неравномерным деформациям оснований.

Малозаглубленный фундамент представляет собой бетонный или железобетонный элемент, устраиваемый на подушке из непучинистого грунта (рис. 2). Применение указанной подушки способствует уменьшению неравномерных деформаций основания.

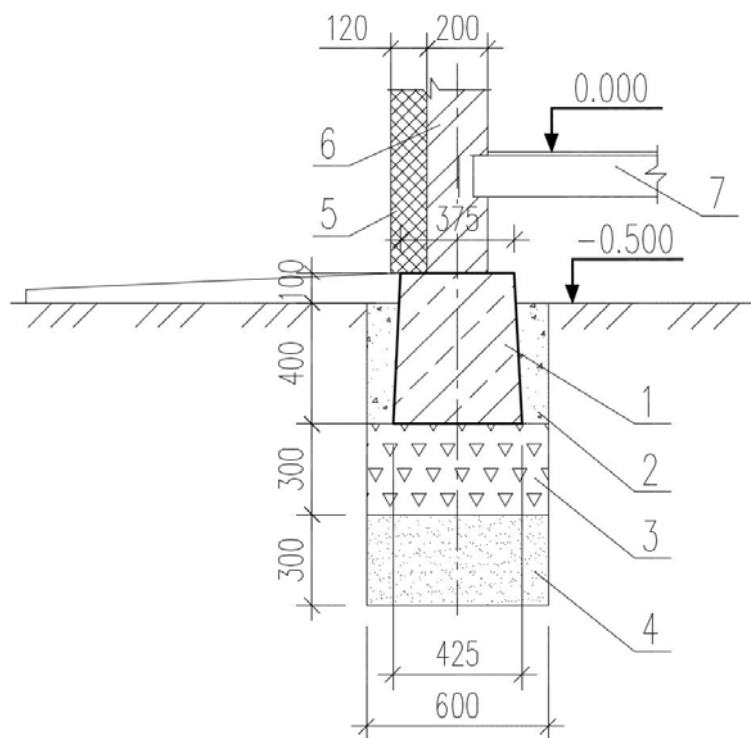


Рис. 2. Малозаглубленный ленточный фундамент:

- 1 – ленточный монолитный железобетонный фундамент; 2 – уплотненный грунт;
- 3 – подушка из щебня; 4 – песчаная подушка; 5 – утеплитель; 6 – кирпичная стена;
- 7 – плита перекрытия железобетонная

Для уменьшения действия касательных сил пучения рекомендуется боковые грани фундаментов выполнять с углом наклона 2–3° или изолировать от смерзания с грунтом специальным покрытием или смазками. Также существуют обоснованные

варианты защиты фундамента от выпучивания грунта с помощью плит экструдированного пенополистирола [10].

В качестве материала для устройства подушки подходят пески гравелистые или не менее средней крупности, мелкий щебень или котельный шлак.

На период строительства следует исключать замачивание грунтового основания фундаментов путем качественной засыпки пазух фундамента с послойным трамбованием и устройством отмосток для защиты от атмосферных вод.

Наиболее надежным решением малозаглубленных фундаментов считаются монолитные железобетонные ленточные фундаменты в комбинации с армопоясом в уровне перекрытия зданий с кирпичными и панельными стенами. Для увеличения несущей способности основания авторами предлагается устраивать комбинированные песчано-щебеночные подушки [11].

При конструировании разработан вариант малозаглубленного ленточного монолитного железобетонного фундамента трапецидального сечения высотой $h = 0,5$ м, с шириной основания $b_n = 0,425$ м и верха $b_b = 0,375$ м. Угол наклона боковых граней $\alpha = 3^\circ$.

Ленточный фундамент устраивается на комбинированных подушках из щебня толщиной $h_{щ} = 0,3$ м и песка толщиной $h_n = 0,3$ м. Глубины заложения подошвы фундамента $d_1 = 0,4$ м, подошвы песчаной подушки $d_n = 1,0$ м. С учетом теплового режима проектируемых жилых домов расчетная глубина промерзания грунта h_0 составляет:

$$h_0 = 1,6 \text{ м} \times 0,6 = 0,96 \text{ м.} \quad (1)$$

Таким образом, глубина $h_0 = 0,96$ м располагается выше глубины заложения подошвы песчаной подушки $d_n = 1,0$ м. Указанное практически исключает проявление негативного влияния морозного пучения при эксплуатации жилого дома.

Определение расчетного сопротивления комбинированного основания. В предложенном техническом решении малозаглубленного фундамента комбинированное основание включает подушку толщиной $h_{щ} = 0,3$ м из щебня и подушку толщиной $h_n = 0,3$ м из песка.

При устройстве песчаной подушки применяется песок не ниже средней крупности или песчано-гравийная смесь (ПГС). Характеристики подушки $\varphi_{II} = 34^\circ$, $\gamma_{II} = 17,0$ кН/м³.

Расчетное и предельное сопротивления подушки из щебня. Определение расчетного давления выполнено согласно схеме на рис. 2. Для расчета используется известная формула (5.7) СП 22.13330.2016. При проектировании подушка из щебня имеет следующие характеристики: $\varphi_{II} = 45^\circ$, $\gamma_{II} = 18,0$ кН/м³. Безразмерные коэффициенты $M_\gamma = 3,66$, $M_q = 15,64$. Глубина заложения фундамента $d_1 = 0,4$ м, ширина подошвы $b = 0,4$ м. Коэффициенты $\gamma_{c1} = 1,4$, $\gamma_{c2} = 1,2$, $k = 1,1$, $k_z = 1,0$, $\gamma_{II} = 18,0$ кН/м³, $\gamma'_{II} = 15,0$ кН/м³.

Тогда расчетное сопротивление щебня:

$$R_{щ} = \frac{1,4 \cdot 1,2}{1,1} (3,66 \cdot 1,0 \cdot 0,4 \cdot 18,0 + 15,64 \cdot 0,4 \cdot 15,0) = 185,0 \text{ кПа.} \quad (2)$$

Давление под подошвой фундамента при наибольшей нагрузке $N_{II} = 95,0$ кН/м.п. и весе фундамента и грунта на его обрезах $Q_{ф.гр.} = 5,0$ кН/м.п. составляет:

$$P_{II} = \frac{N_{II} + Q_{ф.гр.}}{b + 1,0 \text{ м}} = \frac{95,0 + 5,0}{0,4} = 250 \text{ кПа.} \quad (3)$$

Указанное давление превышает расчетное сопротивление подушки из щебня. В этом случае основание работает в стадии нелинейности, степень которой следует оценивать с учетом величины предельного сопротивления подушки из щебня. В настоящей работе исследовалась возможность оценки работы грунтового основания за пределами линейной зависимости осадки от давления $S = f(P)$. Предельное сопроти-

вление грунта находим из известной формулы (5.32) СП 22.13330.2016. Предельное сопротивление P_u грунтового основания из щебня определяем из выражения

$$P_u = N_\gamma \xi_\gamma b' \gamma_1 + N_q \xi_q \gamma' d. \quad (4)$$

В этом выражении для щебня с характеристиками $\phi_1 = 40^\circ$, $\gamma_1 = 18,0$ кН/м³ принимаем $N_\gamma = 66,0$, $N_q = 64,0$, $b' = 0,4$ м, $\xi_\gamma = 1,0$, $\xi_q = 1,0$, $\gamma' = 15,0$ кН/м³, $d = 0,4$ м.

Тогда предельное сопротивление подушки из щебня:

$$P_u = 66,0 \cdot 1,0 \cdot 0,4 \cdot 18,0 + 64,0 \cdot 1,0 \cdot 15,0 \cdot 0,4 = 860,0 \text{ кПа}. \quad (5)$$

Расчет оснований по несущей способности сводится к выполнению условия из выражения

$$P_1 \leq P_{рд}, \quad (6)$$

где P_1 – расчетное давление на основание под подошвой фундамента, равное $100 \text{ кН} \cdot 1,15 + 5 \text{ кН} / 0,4 \cdot 1,0 = 300 \text{ кПа}$; $P_{рд}$ – расчетно-допускаемое давление на основание из выражения (5.27) СП 22.13330.2016:

$$P_{рд} = \frac{\gamma_c P_u}{\gamma_n} = \frac{1,0 \cdot 860}{1,15} = 748 \text{ кПа}. \quad (7)$$

Условие расчета подушки из щебня по несущей способности (6) выполняется:

$$P_1 = 300 \text{ кПа} \ll P_{рд} = 748 \text{ кПа}.$$

Так как $P_{II} = 250 \text{ кПа} > R_{щ} = 185 \text{ кПа}$, выполняется расчет основания по деформациям с учетом нелинейности [12]. При этом известны случаи расчета деформаций основания с учетом нелинейности только в пределах развития пластических зон [13].

Из выражения (68) пособия по проектированию основания зданий и сооружений (М.: Стройиздат, 1986) определяется коэффициент нелинейности:

$$K_n = 1 + \frac{(P_u - R)(P - R_{щ})}{(R_{щ} - \sigma_{zg,0})(P_u - P)} = 1 + \frac{(860 - 185)(300 - 185)}{(185 - 10)(860 - 300)} = 1,8. \quad (8)$$

Расчет осадки фундамента с учетом нелинейности осуществляется по формуле

$$S = S_R K_n, \quad (9)$$

где S_R – расчетная осадка при давлении под подошвой $P = R$.

Расчет основания по деформациям выполнен для нагрузок в диапазоне 6,0–10,0 тс/мп. Расчетные осадки с учетом нелинейности составили 1,1 см для нагрузки 6,0 тс/мп и 1,6 см для нагрузки 10,0 тс/мп. Указанные деформации не превышают недопустимых значений согласно СП 22.13330.2016. Приведенные значения весьма малы, и авторы считают возможным допускать превышение расчетного сопротивления.

Расчетом установлено, что указанный вариант учитывает инженерно-геологические условия площадки строительства из условия надежной работы фундамента при передаче на комбинированную подушку давления в пределах 250,0 кПа (25,0 тс/м²). При этом давление под подушкой на подстилающий просадочный слой не превышает начального просадочного давления.

Экономическое сравнение вариантов. Для сравнения приведены сметные стоимости устройства фундаментов для одноэтажного индивидуального жилого дома общей площадью 113,0 м².

По первоначальному проекту использование традиционного решения в виде ленточных фундаментов с обеспечением давления под подошвой фундамента меньше начального просадочного давления обходится в 725,0 тыс. руб.

Также рассматривался фундамент с применением коротких буровых свай диаметром $d = 0,5$ м и длиной $l = 3,0$ м, объединенных монолитным ростверком, сметной стоимостью 575,0 тыс. руб.

Стоимость предложенного авторами варианта устройства малозаглубленных фундаментов на комбинированной подушке составляет 265,0 тыс. руб., что в 2,2 раза дешевле устройства свай и в 2,7 раза – ленточных фундаментов.

Заключение

1. Для малонагруженных зданий, таких, как индивидуальные жилые дома, возможен вариант расположения подошвы фундамента в слое сезоннопромерзающего грунта при условии обоснования выбора глубины заложения фундамента.

2. Рекомендуется устройство малозаглубленных фундаментов на комбинированной песчано-щебенистой подушке.

3. Определяющим служит расчет основания по деформациям. Так как учет выпирания грунта в цикле промерзание – оттаивание является труднопрогнозируемым, авторами предлагается определять осадки фундамента с учетом нелинейной работы основания.

4. Приведенные в статье результаты исследования позволяют значительно снизить материалоемкость и стоимость малоэтажных зданий в рамках строительства коттеджных поселков за счет применения малозаглубленных фундаментов.

Список литературы

1. Каган, Г.Л. Разработки в области строительства сооружений на сезоннопромерзающих грунтах / Г.Л. Каган, В.А. Шорин, А.Ю. Вельсовский. – Вологда: ВоГУ, 2016. – 184 с.

2. Голли, О.Р. Закономерности морозного пучения грунтов и их использование при проектировании фундаментов / О.Р. Голли // Известия Всероссийского научно-исследовательского института гидротехники им. Б.Е. Веденеева. – 2003. – Т. 242. – С. 135–141.

3. Максимов, Ф.А. Лабораторные исследования морозного пучения грунтов прибором конструкции Южно-Уральского государственного университета / Ф.А. Максимов, Э.Л. Толмачев // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Строительство и архитектура. – 2009. – №35 (168). – С. 52–56.

4. Кортеева, А.В. Рекомендации по проектированию малозаглубленных фундаментов на пучинистых грунтах в городе Хабаровске / А.В. Кортеева, И.П. Кокорина // Дальний Восток. Автомобильные дороги и безопасность движения: международный сборник научных трудов. – Хабаровск, 2017. – С. 255–258.

5. Шорин, В.А. Научные разработки в области строительства сооружений на сезоннопромерзающих грунтах / В.А. Шорин, Г.Л. Каган, А.Ю. Вельсовский // Вестник Вологодского государственного университета. Серия: Технические науки. – 2018. – №1(1). – С. 94–99.

6. Павлов, А.Р. Численное моделирование динамики морозного пучения грунта / А.Р. Павлов, М.А. Матвеева // Вестник Поморского университета. Серия: Естественные и точные науки. – 2008. – № 4. – С. 79–84.

7. Кузина, А.В. Оценка давления морозного пучения грунта, промерзающего под подошвой фундамента / А.В. Кузина, О.А. Мишедченко // Маркшейдерия и недропользование. – 2017. – №4(90). – С. 55–57.

8. Третьякова, О.В. Величины нормальных напряжений морозного пучения, развивающихся в глинистых грунтах / О.В. Третьякова // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. – 2016. – №1. – С. 125–141.

9. Юшков, Б.С. Экспериментально-теоретические основы расчета фундаментов из двухконусных свай, устраиваемых в сезоннопромерзающих грунтах / Б.С. Юшков. – Пермь: ОТ и ДО, 2015. – 311 с.

10. Мойся, А.А. Теплоизолированный малозаглубленный фундамент на пучинистых грунтах / А.А. Мойся, Н.И. Ватин // Инженерно-строительный журнал. – 2009. – №3(5). – С. 7–10.

11. Глухов, В.С. Оптимизация песчаной подушки / В.С. Глухов, О.В. Хрянина, С.В. Глухова, А.П. Пугина // Строительство и архитектура. – 2019. – Т. 7, №4. – С. 32–35.
12. Малышев, М.В. Прочность грунтов и устойчивость оснований сооружений / М. В. Малышев. – М.: Стройиздат, 1994. – 228 с.
13. Glukhov, V.S. Efficient use of sand cushions / V.S. Glukhov, M.V. Glukhova // Proceedings in Earth and Geosciences. – 2019. – Vol.2. Geotechnics fundamentals and applications in construction. – P. 74–76.

References

1. Kagan, G.L. Developments in the field of construction of structures on seasonally freezing soils / G.L. Kagan, V.A. Shorin, A.I. Velsovskii. – Vologda: VGU, 2016. – 184 p.
2. Golli, O.R. Regularities of soil frost heaving, and their use for foundation design / O.R. Golli // Izvestia of the All-Russian Scientific Research Institute of Hydraulic Engineering B.E. Vedeneeva. – 2003. – Vol. 242. – P. 135–141.
3. Maksimov, F.A. Laboratory research of frost heaving of ground with authentic South Ural State University device/ F.A. Maksimov, E.L. Tolmatchev // Bulletin of the South Ural State University. Series: construction and architecture. – 2009. – No 35(168). – P. 52–56.
4. Korteва, A.V. Recommendations for the design of shallow foundations on heaving soils in the city of Khabarovsk / A.V. Korteва, I.P. Kokorina // Far East. Roads and traffic safety: international collection of scientific papers. – Khabarovsk, 2017. – P. 255–258.
5. Shorin, V.A. Scientific developments in the field of construction of structures on seasonally freezing soils / V.A. Shorin, G.L. Kagan, Yu A. Velsovskiy // Bulletin of the Vologda State University. Series: Engineering Sciences. – 2018. – No. 1(1). – P. 94–99.
6. Pavlov, A.R. Numerical modeling of the dynamics of frost heaving of soil / A.R. Pavlov, M.A. Matveeva // Bulletin of the Pomor University. Series: Natural and Exact Sciences. – 2008. – No. 4. – P. 79–84.
7. Kuzina, A.V. Assessment of the frost heaving pressure of the soil freezing under the base of the foundation / A.V. Kuzina, O.A. Mishedchenko // Mine survey and subsoil use. – 2017. – No. 4 (90). – P. 55–57.
8. Tretyakova, O.V. Values of normal frost heaving stresses developing in clay soils / O.V. Tretyakova // Transport. Transport facilities. Ecology. – 2016. – No. 1. – P. 125–141.
9. Yushkov, B.S. Experimental and theoretical foundations for calculating foundations from two-cone piles, arranged in seasonally freezing soils / B.S. Yushkov. – Perm: OT i DO, 2015. – 311 p.
10. Moisyа, A.A. Thermally insulated shallow foundation on heaving soils / A.A. Moisyа, N.I. Vatin // Engineering and construction journal. – 2009. – No. 3 (5). – P. 7–10.
11. Glukhov, V.S. Optimization of the sand cushion / V.S. Glukhov, O.V. Khryanina, S.V. Glukhova, A.P. Pugin // Building and architecture. – 2019. – Vol. 7, No. 4. – P. 32–35.
12. Malyshev, M.V. Strength of soils and bed stability of structures / M.V. Malyshev. – М.: Stroizdat. 1994. – 228 p.
13. Glukhov, V.S. Efficient use of sand cushions / V.S. Glukhov, M.V. Glukhova // Proceedings in Earth and Geosciences. – 2019. – Vol.2. Geotechnics fundamentals and applications in construction. – P. 74–76.

Пензенский государственный университет
архитектуры и строительства

Россия, 440028, г. Пенза,
ул. Германа Титова, д.28,
тел.: (8412) 48-27-37; факс: (8421) 48-74-77

Грачева Юлия Вячеславовна,
кандидат технических наук, доцент кафедры
«Геотехника и дорожное строительство»
E-mail: gds@pguas.ru

Тарасеева Нелли Ивановна,
кандидат технических наук, доцент кафедры
«Геотехника и дорожное строительство»
E-mail: gds@pguas.ru

Крылов Александр Сергеевич,
магистрант
E-mail: gds@pguas.ru

*Penza State University of Architecture
and Construction*

Russia, 440028, Penza, 28, German Titov St.,
tel.: (8412) 48-27-37; fax: (8412) 48-74-77

Gracheva Yulia Vyacheslavovna,
Candidate of Sciences, Associate Professor of the
department «Geotechnics and Road Construction»
E-mail: gds@pguas.ru

Taraseeva Nelli Ivanovna,
Candidate of Sciences, Associate Professor of the
department «Geotechnics and Road Construction»
E-mail: gds@pguas.ru

Krylov Aleksander Sergeevich,
Undergraduate student
E-mail: gds@pguas.ru

КАУСТИФИКАЦИОННЫЕ ГЕОСИНТЕТИЧЕСКИЕ ВЯЖУЩИЕ ДЛЯ ДОРОЖНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

Ю.В. Грачева, Н.И. Тарасеева, А.С. Крылов

Водостойкость дорожно-строительных растворов и бетонов влияет на транспортно-эксплуатационные показатели качества автомобильных дорог. Рассмотрена возможность создания геосинтетических вяжущих с использованием каустификационного процесса регенерации щелочи в теле бетона. Выявлено, что применение для активации твердения метода каустификации позволяет улучшить санитарно-гигиенические условия труда по сравнению со щелочной активацией. Приведены результаты исследования физико-механических свойств каустифицированных геосинтетических вяжущих.

Ключевые слова: геосинтетическое вяжущее, активизатор твердения, процесс каустификации, известково-содовая смесь, водостойкость, дорожные бетоны

CAUSTIFICATION GEOSYNTHETIC BINDERS FOR ROAD CONSTRUCTION

Yu.V. Gracheva, N.I. Taraseeva, A.S. Krylov

Water resistance of mortars and concretes, affects the transport and operational quality indicators of automobile roads. The paper considers the possibility of creating geosynthetic binders using caustic process of alkali regeneration in the concrete body. The use of caustification method for activation of hardening allows to improve sanitary and hygienic working conditions in comparison with alkaline activation. The results of the study of physical and mechanical properties of caustic geosynthetic binders are presented.

Keywords: geosynthetic binder, hardening activator, caustic process, lime-soda mixture, water resistance, road concretes

Конструктив автомобильной дороги, традиционно состоящей из земляного полотна и дорожной одежды, изменяется в зависимости от условий строительства и эксплуатации. Для нивелирования технических характеристик в дорожном строительстве используют не только природные материалы, но и химические добавки. В частности, щелочные растворы повышают прочностные и гидроизоляционные характеристики, а также улучшают реологию дорожной смеси. Карбонат натрия при активации оптимизирует вяжущие композиции в системе «шлак – базальт – клинкер». Известь и различные известковые материалы являются активными участниками

создания практически всех слоев автомобильных дорог разных типов. В качестве вяжущего минеральные материалы помогают сделать основание стабильным, улучшить пригодность и механические качества грунта, используемого для возведения земляного полотна, упрочнить асфальтовые элементы.

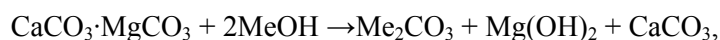
Многие карбонатные, глинистые и кремнеземистые породы, имеющие скрытокристаллическую структуру, способны проявлять вяжущие свойства при взаимодействии со шлаком и щелочами (NaOH и KOH) с формированием высокой прочности [1–3]. Песчаники, состоящие из микрокристаллического и тонковолокнистого кварца, цементированного опал-тридимитовым и опал-кристобалитовым кремнеземом SiO₂, при взаимодействии со 6–7 % щелочи NaOH в нормально-влажностных условиях твердения способны образовывать твердеющие системы с прочностью 30–60 МПа за счет образования кремниевой кислоты. Более дешевым активизатором твердения могут служить известково-содовые смеси для получения каустифицированной щелочи в теле композита.

Известно, что некоторые виды карбонатных пород, такие, например, как доломитизированные известняки и доломиты, могут увеличиваться в объеме в щелочной среде цементного раствора.

Наиболее подвержены воздействию щелочной среды карбонатные породы, в которых отношение кальцита к магнезиту близко к единице. Известняки, не содержащие магнезита или содержащие лишь небольшие его количества, нечувствительны к действию щелочей и могут применяться без опасений в качестве заполнителей в бетонах.

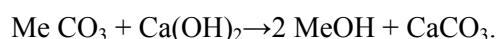
Авторы [1–3] полагают, что при искусственно создаваемой сильной щелочной среде за счет добавления KOH и NaOH в карбонатных породах интенсивность этого процесса будет более высокой, чем в цементных композициях, в которых содержание щелочей по нормам не должно превышать 1 %.

Считается, что вспучивание в бетонах с заполнителем из карбонатных пород обусловлено разложением доломита под действием щелочей по следующей реакции:



где Me – К или Na

Образующийся карбонат щелочного Me далее взаимодействует с гидроксидом Ca в цементном растворе или в *шлакокарбонатном щелочном растворе по реакции*



Происходит регенерация щелочей, которые взаимодействуют с магнезитом, содержащимся в карбонатной породе; это обуславливает продолжительный процесс разложения доломита, который теоретически может протекать до полного исчезновения гидратной извести. С другой стороны, брусит медленно взаимодействует с кремнеземистым гелем, если он содержится в заполнителе. В результате чего по краю зерен заполнителя образуются гидратируемые силикаты Mg, что в данном случае может иметь положительные значения для прочности. Считается, что повреждения бетонов на цементе тем сильнее, чем крупнее фракция заполнителя.

Многолетние исследования, проведенные в США и Канаде, привели к разработке рекомендаций, позволяющих предотвратить отрицательные последствия [3]. Эти рекомендации были внедрены в Варшавском политехническом институте, причем были разработаны методы измерения образцов бетона и способы защиты от расширения, несколько отличающиеся от американских.

В соответствии с канадскими данными карбонатные заполнители с точки зрения расширения в щелочной среде делятся на: нерасширяющиеся (0,3 мм/м), слабо расширяющиеся (0,3–0,7 мм/м), расширяющиеся (1,0–3,0 мм/м) и сильно расширяющиеся (3,0–17,8 мм/м). Опасными, по данным ASTM-C-227, считались бетоны, которые после 3 месяцев хранения во влажной среде имеют расширение 0,5 мм/м, а после 6 месяцев – 1,0 мм/м. По данным ASTM-C-342, при хранении образцов в воде, в

том числе в течение 7 суток при температуре 50°C, опасным считаются бетоны у которых годовое расширение составляет 2 мм/м.

При производстве дробленного заполнителя из карбонатных пород образуется значительное количество мелочи, в том числе и пылевидной.

Обнаружено, что известняковая мелочь, добавляемая в количестве 8–10 % к бетонной смеси, оказывает положительное влияние на технические свойства бетона с карбонатными заполнителями.

В Польше были проведены опыты с образцами из доломитового и известнякового заполнителя с гранулометрией от 0,15 до 5 мм и портландцемента М350 с содержанием щелочи 0,59 %. Были приготовлены образцы бетона без добавок и с добавкой 10 % известняковой и доломитовой пыли гранулометрией менее 0,15 мм, включающей незначительно количество загрязнений.

В условиях производившихся испытаний образцы бетона при наличии пылевидной мелочи после года хранения в сухой атмосфере имели усадку, а образцы без добавки мелочи имели удлинение 0,07–0,22 мм/м. При хранении во влажной среде и в воде образцы, содержащие пылевидную фракцию, имели меньшую усадку.

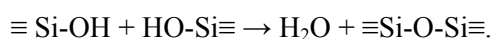
Эксперимент с реакционно-опасным заполнителем бетона – опокой тонко размолотой и затворенной 5 %-м щелочным раствором – показал, что прессованные образцы при выдерживании в течение 4 лет в водных условиях затвердели без образования трещин.

Известно, что наличие опоки в виде крупного заполнителя приводит к саморазрушению бетона за счет щелочей цемента, хотя их доля в последнем невелика.

В связи с этим представляет интерес низкотемпературный синтез алюмосиликатных систем из кремнеземсодержащих горных пород, отверждаемых щелочью NaOH, образующейся в процессе каустификации соды известью в теле бетона, а также выявление роли щелочей, карбонатных солей Na₂CO₃, K₂CO₃ и их комбинаций с щелочью NaOH на прочность и водостойкость геосинтетических композитов.

Особенностью технологии геосинтетических вяжущих является использование щелочей (NaOH, KOH), щелочных солей (Na₂CO₃, K₂CO₃), способствующих повышению в поровой жидкости концентрации ионов OH⁻, которые вызывают поляризацию и разрыв ковалентных –Si-O-Si- связей.

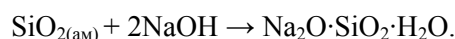
Схему гидратации минералов-силикатов в присутствии Ca²⁺ и OH⁻ приводят в своих работах В.Е. Каушанский и И.Н. Тихомиров [2, 4], которые выделяют низкоосновные гидросиликаты с характерной для них группировкой ≡Si-OH, за счет которой происходит энергетически выгодная конденсация в процессе твердения:



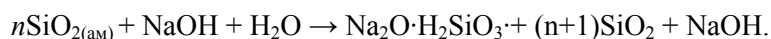
Для реализации такой схемы требуется введение избыточного количества гидроксил-ионов, например в виде щелочных оснований или гидролизующихся солей.

Схемы щелочной активации предусматривают также использование в качестве активаторов солей щелочных металлов (Na, K, Li), гидролизующихся в водных растворах с образованием щелочной среды.

Процесс растворения аморфного кремнезема в сильно щелочной среде осуществляется по реакции



Растворение аморфного кремнезема малым количеством щелочи происходит по реакции



Важным фактором, определяющим процесс твердения геосинтетического вяжущего, является концентрация щелочи в растворе затворения. Предположительно, гель поликремниевой кислоты не образуется при больших дозировках щелочи из-за высокого рН среды, как и в случае использования вулканических стекол [5]. Авторы

делают предположение, что в этом случае происходит образование силикатов щелочных металлов.

Целью дальнейших экспериментов было рассмотрение реакции каустификации наиболее растворимых солей, выходы гидроксидов щелочных металлов при взаимодействии извести в геосинтетических и геотекстильных вяжущих.

Синтез цементирующих новообразований из различных порошков возможен за счет каустификационного процесса регенируемой щелочи в теле вяжущего. Для этого композиты из геосинтетического вяжущего изготавливались прессованием при $P=25$ МПа. В качестве вяжущего использовался тонкомолотый песчаник ($S_{уд}=600$ м²/кг) Архангельского, Куракинского и Шемышейского карьеров Пензенской области. Активизация процессов твердения осуществлялась как с 7 %-ми растворами щелочи от массы вяжущего, так и комплексным известково-содовым активизатором. Содержание извести и соды составляло, соответственно, 7 % и 8 % от массы песчаника. Комплексный известково-содовый активизатор в сухом виде вводился при помоле песчаника. Образцы твердели при нормально-влажностных условиях. В 28-суточном возрасте часть образцов была подвергнута сухому прогреву при температуре 150°C, 250°C и 330°C. Результаты испытаний представлены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

Влияние вида активизатора и температуры сухого прогрева на прочность геосинтетических композитов

Вяжущее		Средняя плотность в естественном состоянии, кг/м ³	Предел прочности при сжатии, МПа			
			После 28 суток нормального твердения	После тепловой обработки		
Основной компонент	Активизатор твердения, % от массы породы			150 °С	250 °С	330 °С
Песчаник архангельский $S_{уд}=600$ м ² /кг	NaOH – 7	1940	52,3	87,4	123,7	176,7
	Ca(OH) ₂ – 8 Na ₂ CO ₃ – 7	1910	41,1	53,5	56,4	60,0
Песчаник куракинский $S_{уд}=600$ м ² /кг	NaOH – 7	1940	53,3	103,3	108,1	124,2
	Ca(OH) ₂ – 8 Na ₂ CO ₃ – 7	1910	28,8	49,1	56,6	64,4
Песчаник шемышейский $S_{уд}=600$ м ² /кг	NaOH – 7	1940	61,0	156,0	161,1	170,1
	Ca(OH) ₂ – 8 Na ₂ CO ₃ – 7	1910	34,6	48,8	54,4	57,3

Как видно из табл. 1, прочность композита, активизированного щелочью, при тепловой обработке при 330 °С возрастает в 2,3–3,4 %, тогда как прирост прочности на каустифицированном геосинтетическом вяжущем составил 1,5–2,2 %. Это может свидетельствовать о более глубоком синтезе новообразований в образцах, активизированных щелочью. Активизация порошка известково-содовой добавкой не позволяет осуществить более глубокий синтез новообразований, что является подтверждением гипотезы об экранирующем действии молекулярно распределенного побочного кальция, выделяющегося в результате каустификации извести содой.

Хотя прочностные показатели на известково-содовом активизаторе при нормальном твердении в 28-суточном возрасте уступают прочности образцов на щелочи в 1,5–2,0 раза, однако достигнутых значений прочности последних вполне достаточно для изготовления сухих строительных смесей (штукатурных, кладочных, отделочных) с современными сухими полимерными водоудерживающими и клеящими добавками.

В следующем эксперименте было рассмотрено влияние комплексных активизаторов, Na₂CO₃ и Ca(OH)₂, их смеси на процесс твердения силицитовых композитов при тепловой обработке. Для этого были отформованы образцы-кубы 3×3×3 см

методом прессования при удельном давлении 15 МПа. Полученные образцы после выдержки в течение 1 суток в естественных условиях подвергались низкотемпературной обработке при $t_{из}=200^{\circ}\text{C}$ со скоростью подъема температуры 45°C в час в течение 4 часов. Время изотермической выдержки составило 6 часов, а охлаждения – 4 часа. Составы смесей, показатели прочности и водостойкости приведены в табл. 2.

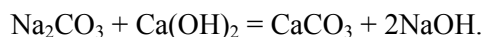
Как видно из табл. 2, модификатор $\text{Al}(\text{OH})_3$ понижает прочностные показатели геосинтетического вяжущего при дозировке щелочи NaOH в количестве 6 % (составы 1–3). При уменьшении дозировки щелочи до 3 % и дополнительном введении комплексного активизатора Na_2CO_3 и $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (составы 4–6) модификатор $\text{Al}(\text{OH})_3$ практически не оказывает влияния на прочностные показатели, хотя коэффициент водостойкости возрастает до 0,92–0,94. Исключение щелочного активизатора NaOH из состава композиций (состав 7) приводит к снижению прочности до 14,7 МПа и уменьшению K_v . Присутствие модификатора $\text{Al}(\text{OH})_3$ повышает прочность композиций, но она при этом остается невысокой. По истечении двух месяцев наблюдения было установлено, что образцы с добавками, находящиеся в воде, не разрушались, в отличие от контрольных. Увеличение доли $\text{Al}(\text{OH})_3$ до 7 % приводит к повышению водостойкости как кратковременной, так и длительной (0,73), что свидетельствует об образовании гидратных водостойких соединений за счет связывания свободной кремнекислоты в системе. Что может позволить рекомендовать данные композиционные (полимерные) материалы к применению на увлажненных, хорошо дренирующих грунтах с целью исключения отрицательного воздействия на составы, где в качестве вяжущего присутствует щелочь.

Т а б л и ц а 2

Влияние концентрации, вида щелочного активизатора на прочность и водостойкость геосинтетических композитов

№ состава	Вяжущее			В/Т	Содержание добавки $\text{Al}(\text{OH})_3$, % от массы вяжущего	Средняя плотность в сухом состоянии, $\text{кг}/\text{м}^3$	Средняя прочность при сжатии, МПа, после тепловой обработки при $t_{из}=200^{\circ}\text{C}$	Средняя прочность при сжатии в водонасыщенном состоянии, МПа, после тепловой обработки	Коэффициент водостойкости после тепловой обработки через водонасыщения, K_v	
	Активизатор твердения, % от массы вяжущего								2 суток	60 суток
	Na_2CO_3	NaOH	$\text{Ca}(\text{OH})_2$							
1	0	6	0	0,16	0	1870	103,5	67,7	0,66	0,2
2	0	6	0	0,16	5	1850	77,5	65,1	0,84	0,58
3	0	6	0	0,16	7	1840	64,8	55,7	0,86	0,66
4	9,2	3	10,2	0,2	0	1845	49,0	13,9	0,28	Образцы разрушились
5	9,2	3	10,2	0,2	5	1840	50,6	46,6	0,92	0,60
6	9,2	3	10,2	0,2	7	1835	51,2	48,1	0,94	0,72
7	9,2	0	10,2	0,2	0	1825	14,7	3,1	0,21	Образцы разрушились
8	9,2	0	10,2	0,2	5	1820	26,5	24,1	0,91	0,65
9	9,2	0	10,2	0,2	7	1815	34,7	31,9	0,92	0,73
10	5,2	3	5,8	0,2	0	1840	16,5	3,7	0,22	Образцы разрушились
11	5,2	3	5,8	0,2	5	1825	24,8	20,8	0,84	0,62
12	5,2	3	5,8	0,2	7	1820	35,1	30,2	0,86	0,66

Таким образом, понижение содержания щелочи NaOH должно быть скомпенсировано увеличением доли $\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{Ca}(\text{OH})_2$, хотя последние при полном прохождении реакции и выделении стехиометрического количества NaOH не могут являться полной заменой индивидуально вводимого щелочного активизатора. В результате взаимодействия воды, гидролизной извести $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и соды Na_2CO_3 происходит образование щелочи NaOH и кальцита CaCO_3 :



Присутствие молекулярно-распределенной побочной соли CaCO_3 в контактных зонах цементируемых частиц негативно сказывается на прочности композита.

На основании анализа протекания реакций каустификации водорастворимых натриевых солей гидролизной и/или специально вводимой в тонкодисперсные горные породы известью установлено отвердевание малощелочных малошлаковых вяжущих и молотых горных пород регенерируемыми в процессе реакции щелочами натрия или калия, что открывает большие перспективы создания новых геосинтетических строительных материалов и решения геоэкологических проблем чрезвычайно простыми методами.

Известкование повышает несущую способность, стойкость к нагрузкам и атмосферным явлениям (осадки, изменение температуры), а следовательно, предотвращает истирание, колейность и преждевременное старение. Кроме того, применение извести как натурального продукта позволяет не только экономить на дорогостоящих заменителях, но и избегать загрязнения почвы и грунтовых вод токсичными химическими веществами. Таким образом, использование полимерных компонентов позволяет модифицировать исходное сырье и придавать важные технико-эксплуатационные свойства дорожному покрытию: увеличение твердости и прочности дорожного покрытия, а соответственно, и сроков эксплуатации.

Список литературы

1. Грачева, Ю.В. Теоретические и технологические аспекты получения низкощелочных геосинтетических вяжущих и развитие методологии оценки их долговечности: моногр. / Ю.В. Грачева. – Пенза: ПГУАС, 2020 – 160 с.
2. Калашников, В.И. Экспресс-метод для оперативного прогноза длительной водостойкости геосинтетических и геошлаковых вяжущих / В.И. Калашников, Ю.В. Грачева, Е.Ю. Миненко // Вестник Государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. – 2013. – № 30. – С. 162–168.
3. Москвин, Р.Н. Каустифицированные минеральношлаковые композиционные материалы: дис. ... канд. техн. наук / Р.Н. Москвин. – Пенза, 2005.
4. Полимерраствор: патент на изобретение RU 2452705 C2 / Воскресенский А.В., Тарасеева Н.И. – Заявка № 2009136771/03 от 05.10.2009; опубл. 10.06.2012.
5. Горлов, Ю.П. Отделочные бесцементные материалы на основе кислых вулканических стекол / Ю.П. Горлов [и др] // Строительные материалы. – 1980. – №9. – С. 9–10.

References

1. Gracheva, Yu.V. Theoretical and technological aspects of obtaining low-alkaline geosynthetic binders and the development of the methodology for assessing their durability: monograph / Yu.V. Gracheva. – Penza: PGAS, 2020. – 160 C.
2. Kalashnikov, V.I. Express-method for operational forecast of long-term water resistance of geosynthetic and geoshlak binders / V.I. Kalashnikov, Yu.V. Gracheva, E.Yu. Minenko // Bulletin of the State University of architecture and civil engineering. Series: Construction and architecture. – 2013. – № 30. – P. 162–168.

3. Moskvin, R.N. Caustic mineral slag composite materials: dis. ... of candidate of Sciences / R.N. Moskvin. – Penza, 2005.

4. Polimerrasvor: patent for invention RU 2452705 C2 / Voskresensky A.V., Taraseeva N.I. – Application No. 2009136771/03 of 05.10.2009; publ. 10.06.2012.

5. Gorlov, Yu.P. Finishing cementless materials based on acidic volcanic glasses / Yu.P. Gorlov [et al.] // Building materials. – 1980. – No. 9. – P. 9–10.

Пензенский государственный университет
архитектуры и строительства

Россия, 440028, г. Пенза,
ул. Германа Титова, д.28,
тел.: (8412) 48-27-37; факс: (8421) 48-74-77

Кислицына Светлана Николаевна,
кандидат технических наук, доцент кафедры
«Технологии строительных материалов
и деревообработки»
E-mail: kislitsyna_sn@mail.ru

Логанина Валентина Ивановна,
доктор технических наук, профессор,
зав. кафедрой «Управление качеством
и технология строительного производства»
E-mail: loganin@mai.ru

*Penza State University of Architecture
and Construction*

Russia, 440028, Penza, 28, German Titov St.,
tel.: (8412) 48-27-37; fax: (8412) 48-74-77

Kislitsyna Svetlana Nikolaevna,
Candidate of Sciences, Associate Professor of the
department «Construction materials and
woodworking technologies»
E-mail: kislitsyna_sn@mail.ru

Loganina Valentina Ivanovna,
Doctor of Sciences, Professor,
Head of the department «Quality management
and construction technologies»
E-mail: loganin@mai.ru

КОРРОЗИОННАЯ СТОЙКОСТЬ БЕТОНА ПРИ НАЛИЧИИ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ

С.Н. Кислицына, В.И. Логанина

Предложено использовать в качестве защитных покрытий бетонных поверхностей строительных конструкций предприятий по производству стекла лакокрасочные составы на основе отходов пенополистирола. Исследованы защитные свойства предложенных покрытий.

Ключевые слова: лакокрасочные покрытия, защита бетонных поверхностей, водопоглощение, коэффициент стойкости

CORROSION RESISTANCE OF CONCRETE WITH PROTECTIVE COATINGS

S.N. Kislitsyna, V.I. Loganina

It is proposed to use paint compositions based on polystyrene waste as a protective coating of concrete surfaces of constructions enterprises for the production of glass. The protective properties of the proposed coating have been investigated.

Keywords: coatings, protection of concrete surfaces, the water absorption, coefficient of resistance

Введение

В настоящее время одной из важных проблем остается создание достаточно эффективной противокоррозионной защиты бетонных строительных конструкций предприятий по производству стекла.

Особенность эксплуатации строительных конструкций на предприятиях по производству стекла заключается в сильном агрессивном воздействии используемых технологических сред на традиционные цементные бетоны, содержащие в своем составе кремнеземистые наполнители.

Наиболее агрессивным компонентом атмосферы цеха химической полировки стекла является фтористый водород. Повышенное содержание в воздухе паров фтористоводородной кислоты возможно при выгрузке и загрузке продукции, а также под кровлей.

Для строительных конструкций, эксплуатирующихся в слабо-, средне-, и высокоагрессивных парогазовых средах и не подвергающихся механическим воздействиям, одним из способов повышения их долговечности является применение лакокрасочных покрытий.

Покрытие снижает возможное переувлажнение, исключает воздействие внешних агрессивных агентов среды на бетон и арматуру и т.д. Лакокрасочное покрытие, нанесенное на бетон, меняет характер взаимодействия бетона с агрессивной средой как при постоянном, так (особенно) и при переменном режиме воздействия, усиливая защитные свойства бетона. При этом продлевается срок службы защищаемой конструкции.

Экспериментальные исследования

Нами были исследованы защитные свойства лакокрасочных покрытий на основе растворов отходов пенополистирола (ППС) по отношению к бетону. Защитные свойства изучали на лакокрасочных составах, приготовленных на основе 15 %-го раствора отходов ППС в смесевом растворителе (смесь ацетона с бензином в соотношении 1:1) при оптимальной степени наполнения [1]. В качестве наполнителей исследовали отходы химической полировки стекла (ОХПС), оксид кальция, гидроксид кальция и смесь фторида кальция с пигментом.

На рис.1 приведены кинетические кривые водопоглощения образцов из цементно-песчаного раствора без покрытия, с 1 слоем грунтовки и с полимерным покрытием минимальной толщины $\delta_{\text{мин}}=0,32$ мм. В качестве грунтовки использовали 5 %-й раствор ППС в смесевом растворителе. В качестве наполнителя использовали смесь фторида кальция с пигментом.

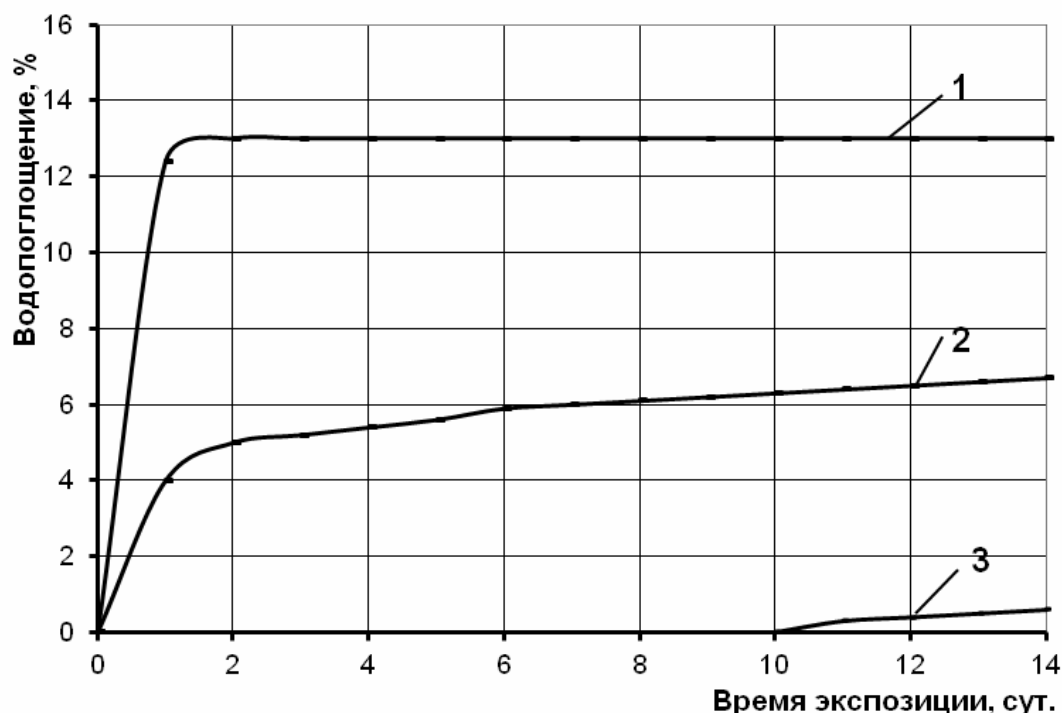


Рис. 1. Кинетические кривые водопоглощения образцов цементно-песчаного раствора:

1 – без покрытия; 2 – с 1 слоем грунтовки;

3 – с полимерным покрытием на основе раствора ППС $\delta=0,32$ мм

Установлено, что постоянное воздействие коррозионной среды (в данном случае воды) на образцы без покрытия через 1 сутки привело почти к полному их насыщению водой. Водопоглощение составило 13 %. Водопоглощение незащищенных покрытием образцов бетона происходит сразу же после погружения в среду. Образцы с покрытием одним слоем грунтовки имели водопоглощение через 1 сутки 6,8 %, что на 70 % меньше, чем у образцов без покрытия, а через 14 суток – на 48 % меньше, чем у незащищенных образцов.

Образцы бетона, защищенные покрытием на основе раствора ППС толщиной $\delta_{\text{мин}} = 0,32$ мм, имели период полной защиты бетона от увлажнения, который составил 10 суток. Через 14 суток водопоглощение образцов, защищенных покрытием, составило 0,8 %, что на 94 % меньше, чем незащищенных.

При периодическом увлажнении (сутки – в воде, сутки – на воздухе) разница в воздействии среды на образцы бетона без покрытия и с покрытием оказалась еще более существенной. Период защиты бетона от увлажнения увеличился с 10 до 30 суток (для покрытия $\delta_{\text{мин}} = 0,32$ мм). Этот дополнительный положительный эффект объясняется способностью лакокрасочных покрытий восстанавливать свои защитные свойства в период сушки от действия жидкой агрессивной среды [2].

Для оценки коррозионной стойкости бетона с защитным покрытием по отношению к парам фтористоводородной кислоты нами были проведены исследования изменения прочности незащищенного бетона и прочности бетона с защитным покрытием в процессе экспозиции в агрессивной среде. Испытание полимерного покрытия на бетонной подложке дает возможность оценить прочность и стабильность адгезионной связи.

Кинд В.В. [3] предложил оценивать коррозионную стойкость бетона коэффициентом стойкости, который представляет собой отношение предела прочности при сжатии $R_{\text{сж}}$ образцов после выдержки в агрессивной среде в течение 6 месяцев к $R_{\text{сж}}$ образцов-близнецов, испытанных в момент экспозиции основных образцов в агрессивную среду.

С целью ускорения проведения эксперимента испытание образцов бетона проводили при концентрациях паров фтористоводородной кислоты, значительно превышающих допустимые по ГОСТ 12.1.205-88. Испытания проводили с концентрацией фтористого водорода 2500 мг/м^3 ($2,5 \text{ мг/л}$) и относительной влажностью $\varphi = 55 \%$.

Для определения эффективности защитного действия лакокрасочного покрытия на основе раствора ППС испытывали окрашенные и неокрашенные образцы из цементно-песчаного раствора состава 1:3. Покрытие наносили слоем толщиной $\delta_{\text{мин}} = 0,32$ мм. На рис. 2 представлены результаты испытаний химической стойкости окрашенных растворных образцов и растворных образцов без покрытия после экспозиции в агрессивной среде в течение 12 месяцев.

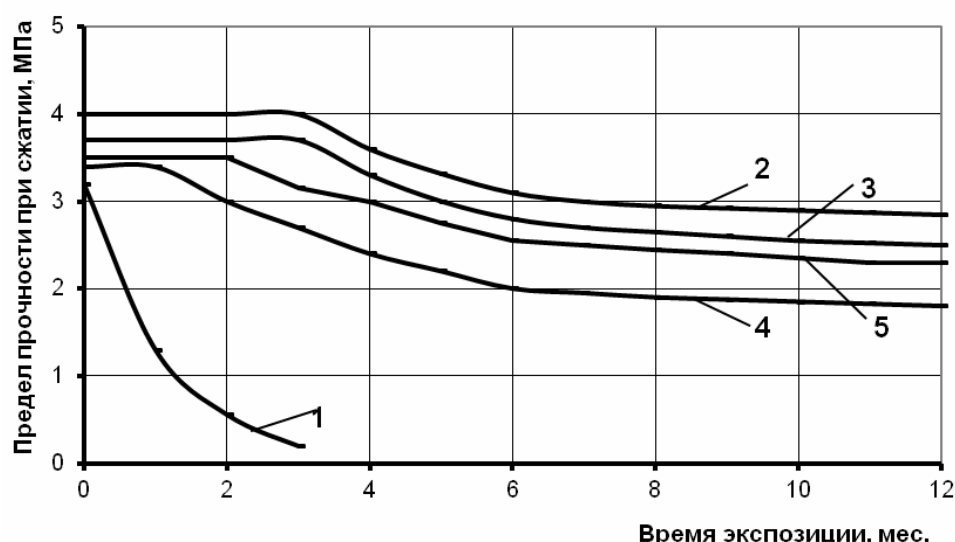


Рис. 2. Изменение степени сохранения прочности бетона в процессе экспозиции в агрессивной среде (пары HF , концентрация $2,5 \text{ г/л}$):

1 – без покрытия (контрольные); 2, 3, 4, 5 – с покрытием на основе раствора ППС, наполнитель: 2 – фторид кальция с пигментом; 3 – ОХПС; 4 – оксид кальция; 5 – гидроксид кальция

Как видно из полученных экспериментальных данных (рис.2, табл.1), коэффициент стойкости растворных образцов, не защищенных лакокрасочным покрытием, к 1 месяцу экспозиции в агрессивной среде составил $K_{ст}=0,40$. При визуальном осмотре наблюдается сильное разрушение образцов, растрескивание. К 3 месяцам экспозиции в агрессивной среде испытать на сжатие растворные образцы, не защищенные покрытием, было невозможно, т.к. они практически разрушились. Раствор оказался нейтрализован почти на всю глубину.

Прочность растворных образцов, покрытых лакокрасочным составом, наполненным фторидом кальция с пигментом, в первые 3 месяца экспозиции в агрессивной среде не изменяется. Это время можно принять, как время полной изоляции бетона от воздействия агрессивной среды. В дальнейшем имеет место постепенное снижение прочности растворных образцов, причем скорость снижения прочности в начальный период коррозии (от 3 до 6 месяцев экспозиции) несколько выше. Очевидно, после образования нейтрализованного слоя определенной толщины процесс нейтрализации протекает с внутренним диффузионным торможением.

Аналогично ведут себя растворные образцы, окрашенные лакокрасочным составом с наполнением ОХПС (отходы химической полировки стекла).

Период полной изоляции бетона от воздействия агрессивной среды у образцов, окрашенных лакокрасочным составом с гидроксидом кальция, несколько меньше и составляет примерно 2 месяца. Это, очевидно, объясняется тем, что продукт реакции гидроксида кальция с парами фтористоводородной кислоты (фторид кальция) занимает меньший объем в отличие от исходного вещества, что увеличивает проницаемость полимерной пленки, а следовательно, и коррозию бетона.

У растворных образцов, окрашенных лакокрасочным составом, наполненным оксидом кальция, период полной изоляции составляет около 1 месяца, что, очевидно, связано, как уже отмечалось выше, с процессом гидратации оксида кальция, в результате чего идет растрескивание покрытия и вследствие этого увеличивается проницаемость лакокрасочного покрытия.

В табл. 1 приведены значения коэффициента стойкости растворных образцов без покрытия и с покрытием на различных наполнителях.

Т а б л и ц а 1

Коэффициент стойкости бетона в парах фтористоводородной кислоты (конц. 2,5 мг/л)

Состояние бетона	Коэффициент стойкости, $K_{ст}$, после экспозиции в агрессивной среде в течение, мес.		
	1	6	12
Без покрытия	0,4	–	–
С покрытием на основе раствора ППС, наполнитель:			
Фторид кальция с пигментом	1	0,8	0,72
ОХПС	1	0,77	0,7
Гидроксид кальция	1	0,71	0,66
Оксид кальция	1	0,61	0,57

Из полученных экспериментальных данных видно, что лучшими защитными свойствами по отношению к воздействию паров фтористоводородной кислоты обладают полимерные покрытия, наполненные фторидом кальция и ОХПС. Защитные свойства полимерного покрытия, наполненного гидроксидом кальция, несколько хуже. Наихудшими защитными свойствами из исследуемых наполнителей обладают покрытия, наполненные оксидом кальция, вследствие причин, указанных выше.

Анализ полученных экспериментальных данных показывает, что исследуемые полимерные покрытия на основе раствора ППС обладают удовлетворительными защитными свойствами по отношению к воздействию влаги и паров фтористоводородной кислоты.

Был проведен сравнительный анализ стойкости в парах фтористоводородной кислоты лакокрасочного покрытия на основе раствора пенополистирола и лакокрасочных покрытий, рекомендуемых для защиты бетонных и железобетонных строительных конструкций СНиП 2.03.11-85.

Испытанию подвергали бетонные образцы, защищенные лакокрасочными составами марки ПФ-115 (ГОСТ 6465-76) и ПФ-1217 (ТУ-6-10-1826-81).

При визуальном осмотре признаки коррозии бетона обнаружались уже после 1 месяца экспозиции в агрессивной среде, причем по всей поверхности покрытия. В то же время у бетонных образцов, защищенных лакокрасочным составом на основе раствора ППС, признаки коррозии наблюдались на гранях и углах образцов (в местах наибольшей концентрации напряжений).

Результаты сравнительных испытаний представлены в табл. 2.

Т а б л и ц а 2

Результаты сравнительных испытаний

Наименование показателей	Лакокрасочный состав на основе раствора ППС	Лакокрасочный состав марки ПФ-115	Лакокрасочный состав марки ПФ-1217
Коэффициент стойкости, $K_{ст}$, после 6 мес. экспозиции в парах HF	0,8	0,51	0,48
Обобщенная оценка защитных свойств, АЗ	0,85	< 0,5	< 0,5

Заключение

Установлено, что полимерные покрытия на основе раствора ППС обладают лучшими защитными свойствами от паров фтористоводородной кислоты по сравнению с покрытиями марок ПФ-115 и ПФ-1217, что позволяет рекомендовать их в качестве защитных покрытий на предприятиях по производству стекла.

Список литературы

1. Логанина, В.И. Реологические свойства лакокрасочных составов на основе отходов полистирола / В.И. Логанина, С.Н. Кислицына // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – №1. – URL: <http://www.science-education.ru/121-18>.
2. Шнейдерова, В.В. Антикоррозионные покрытия в строительстве / В.В. Шнейдерова. – М.: Стройиздат, 1980. – 177 с.
3. Лещинский М.Ю. Испытание бетона / М.Ю. Лещинский. – М.: Стройиздат, 1980. – 360 с.
4. ГОСТ 15140-78. Лакокрасочные материалы. Методы определения адгезии. – М.: издательство стандартов, 1996. – 10 с.
5. ГОСТ 12.1.005-88. Система норм охраны труда. Общие санитарные требования к воздуху рабочей зоны. – М.: Издательство стандартов, 2002.

References

1. Loganina, V.I. The rheological properties of paint formulations based on waste polystyrene / V.I. Loganina, S.N. Kislitsyna // Modern problems of science and education. – 2015. – №1. – URL: <http://www.science-education.ru/121-18>.
2. Shneyderova, V.V. Anti-corrosion coatings in construction / V.V. Shneyderova. – M.: Stroyizdat, 1980. – 177 p.
3. Leszczynski, M.Yu. Testing concrete / M.Yu. Leszczynski. – M.: Stroyizdat, 1980. – 360 p.
4. GOST 15140-78. Paintwork materials. Methods for determination of adhesion. – M.: Publishing house standards, 1996. – 10 p.
5. GOST 12.1.005-88. Occupational safety standards system. General sanitary requirements for working zone air. – M.: Publishing house standards, 2002.

УДК 691.32:666.952

Пензенский государственный университет
архитектуры и строительства

Россия, 440028, г. Пенза,
ул. Германа Титова, д.28,
тел.: (8412) 48-27-37; факс: (8421) 48-74-77

Коровкин Марк Олимпиевич,
кандидат технических наук, доцент кафедры
«Технологии строительных материалов
и деревообработки»
E-mail: m_korovkin@mail.ru

Короткова Анна Александровна,
аспирант кафедры «Технологии строительных
материалов и деревообработки»
E-mail: anna10_89@bk.ru

Ерошкина Надежда Александровна,
кандидат технических наук, доцент кафедры
«Технологии строительных материалов
и деревообработки»
E-mail: n_eroshkina@mail.ru

Саденко Сергей Михайлович,
кандидат технических наук, профессор
кафедры «Технологии строительных
материалов и деревообработки»
E-mail: sadenko@mail.ru

Penza State University of Architecture
and Construction

Russia, 440028, Penza, 28, German Titov St.,
tel.: (8412) 48-27-37; fax: (8412) 48-74-77

Korovkin Mark Olimpievich,
Candidate of Sciences, Associate Professor of the
department «Technology of building materials and
wood processing»
E-mail: m_korovkin@mail.ru

Korotkova Anna Aleksandrovna,
Postgraduate student of the department
«Technology of building materials and wood
processing»
E-mail: anna10_89@bk.ru

Eroshkina Nadezda Aleksandrovna,
Candidate of Sciences, Associate Professor of the
department «Technology of building materials and
wood processing»
E-mail: n_eroshkina@mail.ru

Sadenko Sergey Mikhailovich,
Candidate of Sciences, Professor of the
department «Technology of building materials and
wood processing»
E-mail: sadenko@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОДОРЕДУЦИРУЮЩЕГО ЭФФЕКТА СУПЕРПЛАСТИФИКАТОРОВ В МЕЛКОЗЕРНИСТЫХ БЕТОННЫХ СМЕСЯХ, ПРИГОТОВЛЕННЫХ НА СМЕШАННЫХ ЦЕМЕНТАХ

М.О. Коровкин, А.А. Короткова, Н.А. Ерошкина, С.М. Саденко

Исследованы водоредуцирующие эффекты суперпластификаторов MasterPolyheed 3045 и Sika ViscoCrete T-150 в мелкозернистых бетонных смесях, приготовленных с применением цемента с добавками метаксаолина, микрокремнезема, доменного гранулированного шлака и молотого пылевидного кварца.

Ключевые слова: суперпластификатор, минеральная добавка, смешанный цемент, водоредуцирующий эффект, сохраняемость

STUDY OF THE WATER-REDUCING EFFECT OF SUPERPLASTICIZERS IN FINE-GRAINED CONCRETE MIXTURES PREPARED WITH MIXED CEMENTS

M.O. Korovkin, A.A. Korotkova, N.A. Eroshkina, S.M. Sadenko

The water-reducing effects of MasterPolyheed 3045 and Sika ViscoCrete T-150 superplasticizers in mixtures of fine-grained concrete mixtures prepared with the use of cement with the addition of metakaolin, microsilica, granulated blast furnace slag and ground pulverized quartz have been investigated.

Keywords: superplasticizer, mineral additive, blended cement, water-reducing effect, preservation

Введение

Применение суперпластификаторов (СП) в производстве бетона позволяет решить одну из главных проблем бетоноведения – снизить расход воды в бетонной смеси пластичной консистенции до уровня, обеспечивающего ее полное гидратационное связывание в микроструктуре цементного камня. Значительное снижение в бетонах объема капиллярных пор обеспечивает повышение прочности и долговечности этого материала до уровня, превышающего требования к бетону в современном массовом строительстве. В связи с этим применение СП совместно с минеральными добавками (МД), снижающими активность вяжущего, целесообразно для приготовления бетонных смесей с высокой удобоукладываемостью при пониженных расходах цемента. Совместное использование СП и инертных МД в бетонах с низким расходом цемента позволяет получить доброкачественные высокоподвижные бетонные смеси [1, 2], а в бетонах с активными МД – кроме улучшения технологических свойств повысить прочность и долговечность бетона, приготовленного с применением смешанного цемента [3, 4, 5].

Одной из проблем применения СП в технологии бетона является совместимость этой добавки с цементом [6]. Под совместимостью понимается достаточная сохраняемость пластифицирующего или водоредуцирующего эффекта во времени. Установлены основные факторы, определяющие совместимость СП и цемента, – количество алюминатных минералов, сульфатов и щелочей в цементе [7, 8], однако совместимость далеко не всегда удается достоверно прогнозировать, в связи с чем для выявления эффективности применения СП, особенно в смешанных цементах, необходимо проведение экспериментальных исследований [9, 10, 11].

Целью настоящей работы было исследование влияния двух видов СП на сохраняемость водоредуцирующего эффекта.

Методы и материалы для исследования

Исследования влияния вида СП и их дозировки на водоредуцирующий эффект проводились на мелкозернистых смесях с отношением песка к цементу, равным 1,2. Оценка текучести смеси производилась через 3, 15, 30 и 45 мин по диаметру ее расплыва из цилиндрического вискозиметра диаметром 21 и высотой 26 мм.

В эксперименте подбиралось водоцементное отношение, обеспечивающее для различных сроков испытания расплыв смеси 54...56 мм. При такой консистенции смесь обладала свойствами самоуплотнения, при этом в ней не отмечались признаки водоотделения и расслоения.

Водоредуцирующий эффект для различных сроков определения консистенции смеси рассчитывался по формуле $VP = 100 \cdot (V/C_n - V/C_{cn}) / V/C_{cn}$, где V/C_n и V/C_{cn} – водоцементные отношения равноподвижных непластифицированной (контрольной) и пластифицированной смесей, соответственно. Для приготовления контрольной смеси использовались цемент без минеральных добавок и СП.

Исследования проводились с применением портландцемента ЦЕМ I 45,2 ООО «Азия цемент» и кварцевого песка Песчанковского месторождения с $M_k 2,1$. В качестве минеральных добавок были исследованы:

- активные МД – метакаолин ООО «Синерго» и микрокремнезем ПАО «НЛМК»;
- МД, проявляющая вяжущие свойства, – доменный гранулированный шлак ПАО «НЛМК»;
- инертная МД – кварц молотый пылевидный производства ОАО «Люберецкий горно-обогатительный комбинат».

При введении в смесь МД она замещала соответствующее количество цемента по объему.

В качестве водоредуцирующих добавок исследовали СП MasterPolyheed 3045 (СП №1) и Sika ViscoCrete T-150 (СП №2). Дозировка СП в эксперименте составляла 0,7 % и 0,4 % от массы цемента.

Результаты и обсуждение результатов

Кинетика изменения водоредуцирующего эффекта исследованных СП в составах с различными видами МД приведена на рис. 1 и 2.

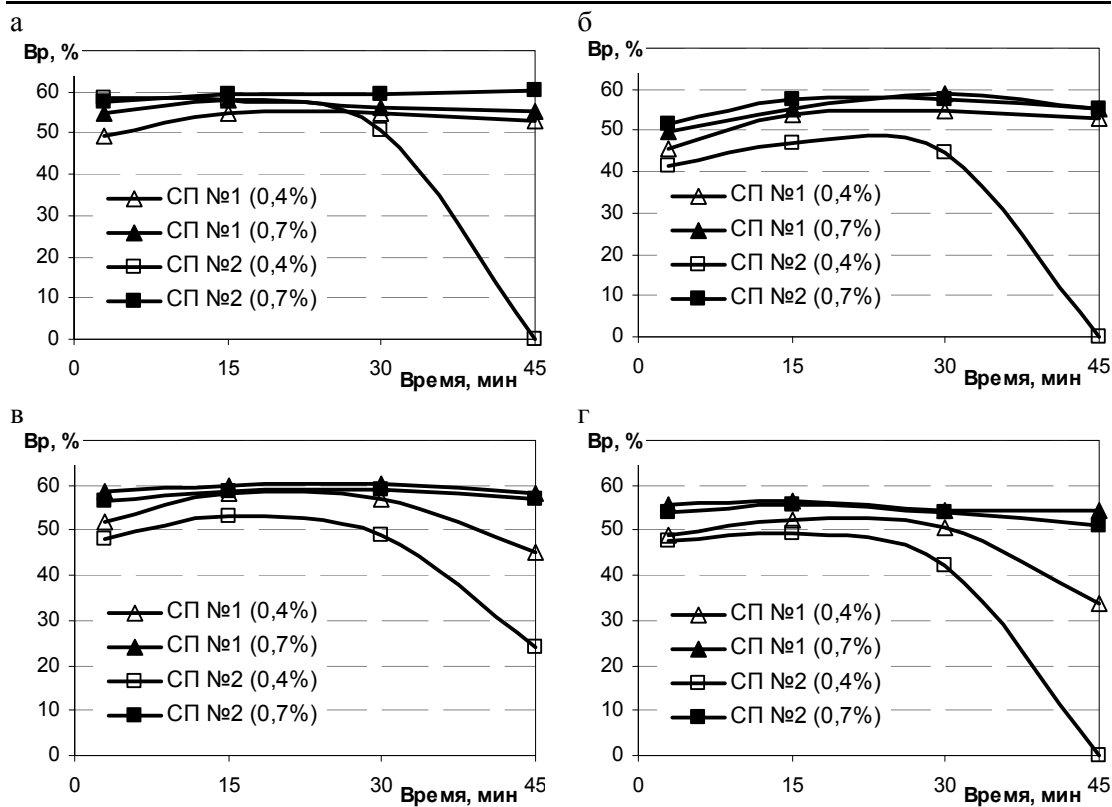


Рис. 1. Водоредуцирующие эффекты СП в цементах с добавками метакаолина (а, б) и микрокремнезема (в, г) при их дозировке 5 % (а, в) и 10 % (б, г)

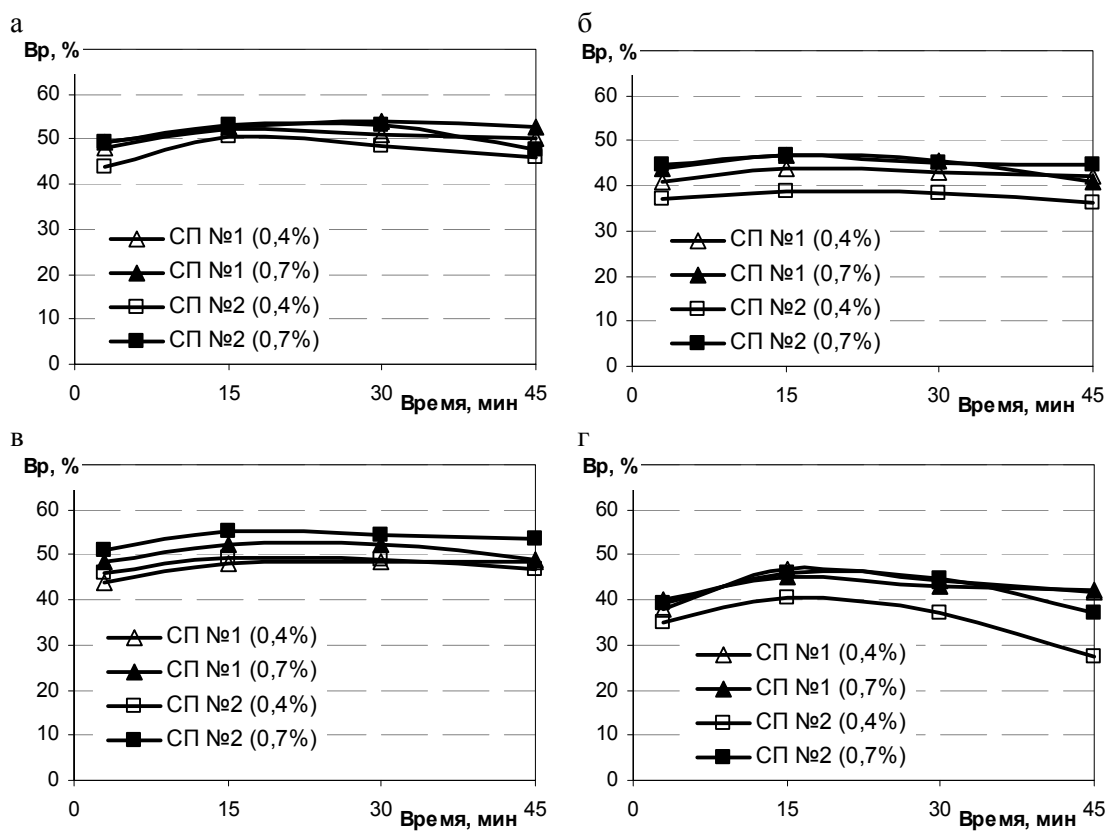


Рис. 2. Водоредуцирующие эффекты СП в цементах с добавками шлака (а, б) и микрокварца (в, г) при их дозировке 15 % (а, в) и 30 % (б, г)

Анализ графиков на рис. 1 и 2 показывает, что водоредуцирующий эффект СП в мелкозернистых смесях находится в пределах 35-60 %, что сопоставимо с эффективностью этих добавок в цементных суспензиях. Высокая эффективность СП объясняется низким объемным содержанием песка в исследованных смесях.

Установлено, что водоредуцирующий эффект СП в смесях, приготовленных с применением активных МД, выше, чем в смесях со шлаком и пылевидным кварцем, что может быть связано с более высокой дисперсностью метакаолина и микрокремнезема. Эти добавки содержат в основном частицы коллоидного размера, а их суспензии в присутствии СП образуют золь, обеспечивающий текучесть смеси при низком содержании воды.

Почти для всех составов характерна высокая сохраняемость водоредуцирующего эффекта, только в смесях с добавкой метакаолина (см. рис. 1, а, б) после 30 мин отмечено быстрое снижение эффективности СП №2 при его дозировке 0,4 %, но при более высоком расходе СП водоредуцирующий эффект остается практически неизменным.

В составах с добавкой микрокремнезема после 30 мин выдержки смеси происходит значительное снижение водоредуцирующего эффекта при дозировке исследованных СП, равной 0,4 %, а при увеличении расхода микрокремнезема его негативное влияние на водопотребность смеси при такой дозировке СП возрастает.

Как уже отмечалось, водоредуцирующий эффект СП в смесях с добавками шлака и молотого кварца значительно ниже, чем в смесях с активными МД, а при увеличении дозировки шлака и кварца наблюдалось снижение эффективности СП. В то же время не отмечалось значительного изменения эффективности СП при выдерживании смеси (см. рис. 2) во всех составах за исключением смесей с добавкой 30 % молотого кварца при низкой дозировке СП № 2 (см. рис. 2, г).

Выводы

Исследования показали высокую водоредуцирующую эффективность суперпластификаторов MasterPolyheed 3045 и Sika ViscoCrete T-150 в мелкозернистых бетонных смесях. Доказано, что в составах с активными минеральными добавками – метакаолином и микрокремнеземом – эффективность суперпластификаторов выше, чем в составах со шлаком и молотым кварцем.

Установлено, что, в отличие от высокодисперсных активных минеральных добавок, увеличение в смешанном цементе доли шлака и измельченного кварца снижает водоредуцирующий эффект.

Результаты исследований могут быть использованы для подбора составов самоуплотняющихся мелкозернистых смесей ремонтного и монтажного назначения.

Список литературы

1. Калашников, В.И. Эволюция развития составов и изменение прочности бетонов. Бетоны настоящего и будущего. Часть 1. Изменение составов и прочности бетонов / В.И. Калашников // Строительные материалы. – 2016. – № 1–2. – С. 96–103.
2. Коровкин, М.О. Рациональное применение инертных минеральных добавок в технологии бетона / М.О. Коровкин, Д.М. Гринцов, Н.А. Ерошкина // Инженерный вестник Дона. – 2017. – №3. – URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2017/4361.
3. Каприелов, С.С. Модифицированные бетоны нового поколения: реальность и перспектива / С.С. Каприелов, В.Г. Батраков, А.В. Шейнфельд // Бетон и железобетон. – 1999. – № 6. – С. 6–10.
4. Каприелов, С.С. Модифицированные бетоны нового поколения в сооружениях ММДЦ «Москва-Сити» / С.С. Каприелов, В.И. Травуш, Н.И. Карпенко, А.В. Шейнфельд, Г.С. Кардумян, Ю.А. Киселева, О.В. Пригоженко // Строительные материалы. – 2006. – № 10. – С. 13–18.
5. Калашников, В.И. Супер- и гиперпластификаторы. Микрокремнеземы. Бетоны нового поколения с низким удельным расходом цемента на единицу прочности / В.И. Калашников // ALITinform: Цемент. Бетон. Сухие смеси. – 2011. – № 4. – С. 60–69.

6. Рамачандран, В.С. Наука о бетоне: физико-химическое бетоноведение / В. Рамачандран, Р. Фельдман, Дж. Бодуэн. – М.: Стройиздат, 1986. – 278 с.
7. Jiang, S. Importance of Adequate Soluble Alkali Content to Ensure Cement / Superplasticizer Compatibility / S., Jiang B.-G. Kim, P.C. Aïtcin // *Cement and Concrete Research*. – 1999. – Vol. 29, Iss. 1. – P. 71–78.
8. Habbaba, A. Formation of organo-mineral phases at early addition of superplasticizers: The role of alkali sulfates and C₃A content / A. Habbaba, Z. Dai, J. Plank // *Cement and Concrete Research*. – 2014. – Vol. 59. – P. 112–117.
9. Cyr, M. Study of the shear thickening effect of superplasticizers on the rheological behaviour of cement pastes containing or not mineral additives / M. Cyr, C. Legrand, M. Mouret // *Cement and Concrete Research*. – 2000. – Vol. 30, Iss. 9. – P. 1477–1483.
10. Agarwal, S.K. Compatibility of superplasticizers with different cements / S.K. Agarwal, I. Masood, S.K. Malhotra // *Construction and Building Materials*. – 2000. – Vol. 14, Iss. 5. – P. 253–259.
11. Burgos-Montesa, O. Compatibility between superplasticizer admixtures and cements with mineral additions / O. Burgos-Montesa, M. Palaciosb, P. Rivillaa, F. Puertasa // *Construction and Building Materials*. – 2012. – Vol. 31. – P. 300–309.

References

1. Kalashnikov, V.A. Evolution of Development of Concretes Compositions and Change in Concrete Strength. Concretes of Present and Future. Part 1. Change in Compositions and Strength of Concretes / V.A. Kalashnikov // *Construction Materials*. – 2016. – No. 1–2. – P. 96–103.
2. Korovkin, M.O. Rational use of inert mineral additives in concrete technology / M.O. Korovkin, D.M. Grintsov, N.A. Eroshkina // *Engineering Bulletin of the Don*. – 2017. – No. 3. – URL: ivdon.ru/magazine/archive/n3y2017/4361
3. Karpelov, S.S. Modified Concrete of a New Generation: Reality and Perspective / S.S. Karpelov, V.G. Batrakov, A.V. Scheinfeld // *Concrete and reinforced concrete*. – 1999. – No. 6. – P. 6–10.
4. Karpelov, S.S. Modified concrete of the new generation in the structures of the Moscow-City MIBC / S.S. Karpelov, V.I. Travush, N.I. Karpenko, A.V. Sheinfeld, G.S. Kardumyan, Yu. A. Kiseleva, O. V. Prigozhenko // *Construction materials*. – 2006. – No. 10. – P. 13–18.
5. Kalashnikov, V.I. Super- and hyperplasticizers. Microsilica. New generation concretes with low specific consumption of cement per unit strength / V.I. Kalashnikov // *ALITinform: Cement. Concrete. Dry mixes*. – 2011. – No. 4. – P. 60–69.
6. Ramachandran, V.S. Nauka o betone: fiziko-khimicheskoe betonovedenie / V. Ramachandran, R. Feldman, J. Baudouin. – М.: Stroyizdat, 1986. – 278 p.
7. Jiang, S. Importance of Adequate Soluble Alkali Content to Ensure Cement / Superplasticizer Compatibility / S., Jiang B.-G. Kim, P.C. Aïtcin // *Cement and Concrete Research*. – 1999. – Vol. 29, Iss. 1. – P. 71–78.
8. Habbaba, A. Formation of organo-mineral phases at early addition of superplasticizers: The role of alkali sulfates and C₃A content / A. Habbaba, Z. Dai, J. Plank // *Cement and Concrete Research*. – 2014. – Vol. 59. – P. 112–117.
9. Cyr, M. Study of the shear thickening effect of superplasticizers on the rheological behaviour of cement pastes containing or not mineral additives / M. Cyr, C. Legrand, M. Mouret // *Cement and Concrete Research*. – 2000. – Vol. 30, Iss. 9. – P. 1477–1483.
10. Agarwal, S.K. Compatibility of superplasticizers with different cements / S.K. Agarwal, I. Masood, S.K. Malhotra // *Construction and Building Materials*. – 2000. – Vol. 14, Iss. 5. – P. 253–259.
11. Burgos-Montesa, O. Compatibility between superplasticizer admixtures and cements with mineral additions / O. Burgos-Montesa, M. Palaciosb, P. Rivillaa, F. Puertasa // *Construction and Building Materials*. – 2012. – Vol. 31. – P. 300–309.

УДК 625.7/8

73.31.11 Автомобильные дороги

Тамбовский государственный технический университет

Россия, 392032, г. Тамбов,
ул. Мичуринская, 112

Сенибабнов Сергей Анатольевич,
аспирант кафедры «Городское строительство
и автомобильные дороги»
E-mail: gsiad@mail.tambov.ru

Андрианов Константин Анатольевич,
кандидат технических наук,
доцент, заведующий кафедрой «Городское
строительство и автомобильные дороги»
E-mail: konst-68@yandex.ru .

Зубков Анатолий Федорович,
доктор технических наук, профессор
кафедры «Городское строительство
и автомобильные дороги»
E-mail: gsiad@mail.tambov.ru

*Пензенский государственный университет
архитектуры и строительства*

Россия, 440028, г. Пенза,
ул. Германа Титова, д.28,
тел.: (8412) 48-27-37; факс: (8421) 48-74-77

Кузнецов Алексей Анатольевич,
кандидат технических наук, доцент
кафедры «Геотехника и дорожное
строительство»

Tambov State Technical University

Russia, 392032, Tambov, 112, Michurinskaya St.

Senibabnov Sergey Anatolyevich,
Postgraduate student of the department «Urban
Construction and Highways»
E-mail: gsiad@mail.tambov.ru

Andrianov Konstantin Anatolyevich,
Candidate of Sciences, Associate Professor,
Head of the department «Urban Construction and
Highways»
E-mail: konst-68@yandex.ru

Zubkov Anatoly Fedorovich,
Doctor of Sciences, Professor of the department
«Urban Construction and Highways»
E-mail: gsiad@mail.tambov.ru

*Penza State University of Architecture
and Construction*

Russia, 440028, Penza, 28, German Titov St.,
tel.: (8412) 48-27-37; fax: (8412) 48-74-77

Kuznetsov Alexey Anatolievich,
Candidate of Sciences, Associate Professor of the
department «Geotechnics and Road
Construction»

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК АСФАЛЬТОГРАНУЛЯТА ПРИ УСТРОЙСТВЕ СЛОЕВ ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ

С.А. Сенибабнов, К.А. Андрианов, А.Ф.Зубков, А.А. Кузнецов

В процессе фрезерования асфальтобетонных покрытий образуется гранулят, которой с учетом рекомендаций технической литературы можно использовать при устройстве слоев дорожной одежды различного функционального назначения. С целью определения реологических характеристик асфальтогранулята с учетом толщины укладываемого слоя были отобраны образцы из фрезерованного материала различного зернового состава. В статье приведены результаты экспериментальных исследований напряженно-деформированных образцов в зависимости от фракций и толщины слоя асфальтогранулята. Проведена оценка сопротивления материала силовому воздействию нагрузки от рабочих органов машин при выполнении дорожно-строительных и ремонтных работ.

Ключевые слова: асфальтогранулят, реологические характеристики напряженно-деформированного материала, строительство автомобильных дорог

DETERMINATION OF RHEOLOGICAL CHARACTERISTICS OF ASPHALTOGRANULATE IN THE ARRANGEMENT OF PAVEMENT LAYERS

S.A. Senibabnov, K.A. Andrianov, A.F. Zubkov, A.A. Kuznetsov

In the process of milling of asphalt concrete pavements, granulate is formed, which, taking into account the recommendations of the technical literature, can be used in arranging layers of pavement for various functional purposes. In order to determine the rheological characteristics of the asphalt

granulate, taking into account the thickness of the layer some, samples were selected from the milled material of various grain size composition. The article presents the results of experimental studies of stress-deformed samples depending on the fractions and thickness of the autogranulate layer. An assessment of the resistance of the material to the force impact of the load from the working organs of the tires during road construction and repair work was made.

Keywords: asphalt granulate, rheological characteristics of stress-strain material, road construction

Для укрепления обочин дорожных покрытий и устройства промышленных площадок используются материалы, получаемые в процессе ремонта или реконструкции автомобильных дорог при холодном фрезеровании старых асфальтобетонных покрытий. В зависимости от области применения технологией работ предусматривается укладка асфальтогранулята слоями разной толщины, что влияет на процесс уплотнения и выбор звена машин для этих целей [1..4]. Нормативным документом ОДМ 218.2.022-2012 определен состав минеральной части асфальтогранулята, который приведен в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

Зерновой состав асфальтогранулята

Размер зерен, мм, мельче	40	20	15	10	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,16	0,071
Проход через сита, %	90-100	75-100	64-100	52-88	40-60	28-60	16-60	10-60	8-37	5-20	2-8

Из представленного состава фрезерованного материала видно, что укладываемый материал представляет собой систему, состоящую из частиц разных размеров, которые при уплотнении взаимодействуют между собой. Состояние такой системы можно представить с точки зрения теории реологии как математическую модель, рассматривающую среду как однородную, обладающую механическими свойствами, что позволяет связать математическими уравнениями напряжения и деформации, возникающие одновременно при действии нагрузок на материал [5, 6, 7–13].

В ходе экспериментальных исследований напряженно-деформированных образцов можем оценить сопротивление материала силовому воздействию нагрузки от рабочих органов машин [14, 15, 16]. В качестве характеристики, позволяющей оценить прочностные свойства материала, принимаем модуль упругости, который определяем по формуле

$$E_y = \sigma / \lambda_{упр}, \text{ МПа},$$

где σ – напряжение, МПа; $\lambda_{упр}$ – относительная упругая деформация, $\lambda_{упр} = \ell_{упр} / h$; $\ell_{упр}$ – величина абсолютной упругой деформации, мм; h – толщина слоя, мм.

Согласно ГОСТ 30416, численное значение модуля деформации уплотняемого материала найдем по формуле

$$E_d = \sigma d_{ш} / \lambda_n, \text{ МПа},$$

где $d_{ш}$ – диаметр штампа, м; λ_n – полная осадка штампа, м.

Численное значение коэффициента вязкого сопротивления определим по формуле

$$\eta = \sigma / (d\lambda_1/dt), \text{ Нс/м},$$

где λ_1 – необратимая относительная деформация.

Напряжения, возникающие под действием нагрузки на материал, получим из уравнения

$$\sigma = E\lambda + \eta\dot{\lambda}, \text{ МПа},$$

где E – модуль упругости, МПа; η – вязкость, Нс/мм; λ – деформация материала, мм.

Для определения реологических характеристик асфальтогранулята с учетом толщины укладываемого слоя были отобраны образцы из фрезерованного материала. Испытание образцов проводилось на одноосное сжатие. Прочность образца из асфальтогранулята оценивалась при постоянной скорости нагружения. Деформативность битумоминеральной смеси определялась в диапазоне линейной вязкоупругости при условии сохранения прямо пропорциональной зависимости между напряжениями и деформациями.

Величина общей деформации материала определяется выражением

$$\lambda_{\text{общ}} = \lambda_{\text{упр}} + \lambda_{\text{ост}}, \text{ мм},$$

где $\lambda_{\text{упр}}$ – упругая деформация, мм; $\lambda_{\text{ост}}$ – остаточная деформация, мм.

Эффективность процесса уплотнения материала зависит от скорости изменения его напряженного состояния. С увеличением скорости величины полной и остаточной деформаций значительно уменьшаются при незначительном изменении упругой деформации. Учитывая скорость движения автомобильного транспорта, считаем, что скорость изменения напряженного состояния материала не влияет на процесс уплотнения смеси в выбоине покрытия дорожной одежды автомобильных дорог.

В выбоине дорожного покрытия в укладываемом материале возникают упруговязкопластические деформации, зависящие от свойств самого материала и действующей нагрузки. Для определения влияния нагрузки на развитие деформаций необходимо знать реологические характеристики битумоминеральной смеси [17...20]. Реологические характеристики смеси определялись при погружении металлического круглого штампа в образец асфальтогранулята при заданной величине напряжения. Определение характеристик асфальтогранулята производилось на прессе ПГ-500.

Методика проведения экспериментального исследования.

На поверхность образца устанавливался металлический штамп. Верхняя плита прессы располагалась выше поверхности штампа на 1,5–2,2 мм. Для измерения деформации использовался индикатор часового типа, прикрепленный к стойке, подвижная часть его ножки касалась верхней плиты прессы. Испытываемый образец материала нагружался через штамп. При заданной величине напряжения с помощью индикатора измерялась полная деформация образца. После этого нагрузка снималась, и производился замер упругой деформации. Затем процесс повторялся.

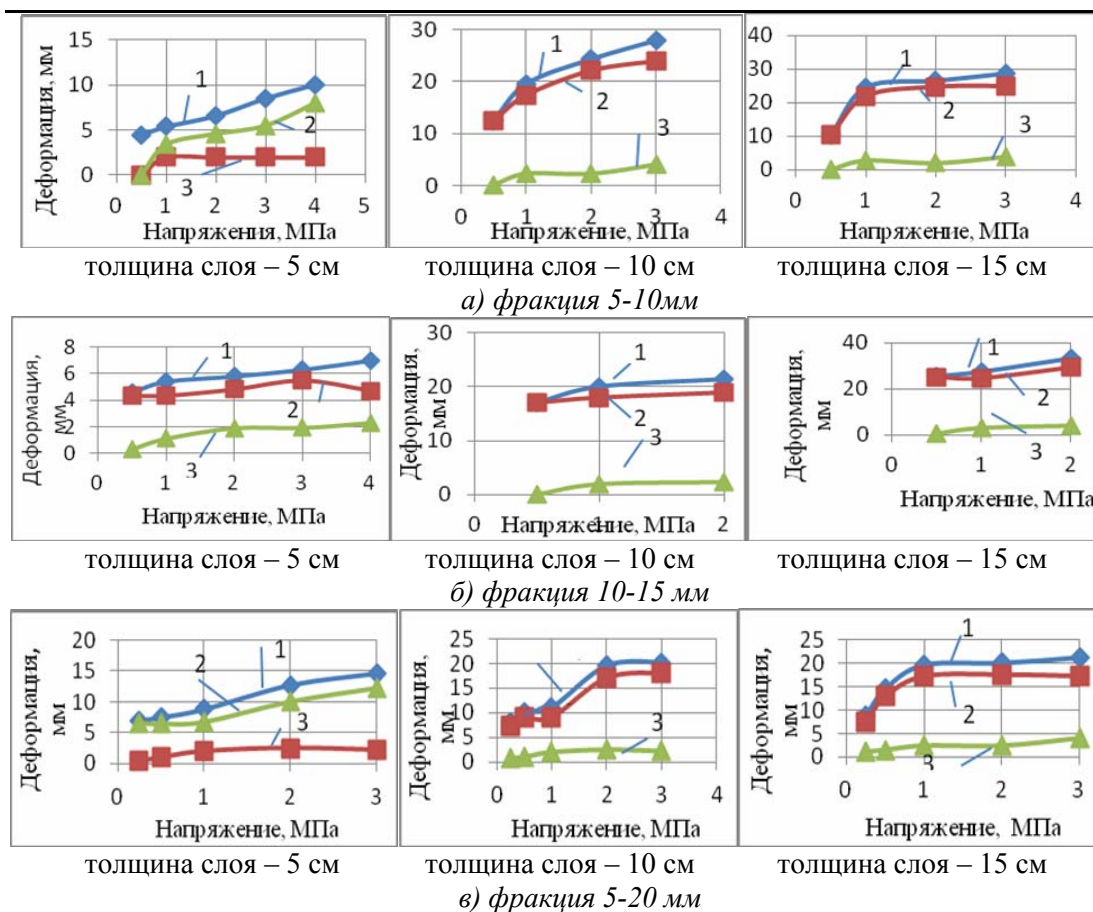
Результаты измерения деформаций слоя материала при действии нагрузки представлены на рисунке.

На основании полученных результатов в качестве примера в табл. 2 представлены реологические характеристики для асфальтогранулята фракции 5-20 мм при толщине слоя 0,1 м.

Т а б л и ц а 2

Реологические характеристики асфальтогранулята
для фракции 5-20 мм при толщине слоя 0,1 м

σ , МПа	$\lambda_{\text{полн}}$, мм	$\lambda_{\text{упруг}}$, мм	$E_{\text{упр}}$, МПа	$E_{\text{деф}}$, МПа	$K_{\text{жест}}$, Н/мм	$K_{\text{вязк}}$, Нс/мм
0,25	2,0	0,5	35	8,8	0,13	11,9
0,5	2,50	0,8	43,8	14,0	0,2	20,8
1,0	2,70	0,89	78,6	25,9	0,37	41,7
2,0	2,78	0,9	155,6	50,0	0,72	76,9
3,0	2,88	1,1	190,9	72,9	1,04	115,4
4,0	2,90	1,25	224,0	96,6	1,38	153,8



Зависимость деформации асфальтогранулята от толщины слоя:

1 – полная деформация; 2 – остаточная деформация; 3 – упругая деформация

Выводы

На основании полученных результатов исследований можно сделать следующие выводы.

1. Развитие необратимой деформации материала зависит от толщины укладываемого слоя и его физико-механических характеристик.
2. Максимальная деформация материала фракции 5-20 мм при толщине слоя 0,1 м достигается при напряжении под рабочим органом машины 2 МПа, увеличение напряжения приводит к образованию пластических деформаций в материале.
3. Установлено, что с уменьшением толщины слоя при устройстве дорожного покрытия возрастает способность материала сопротивляться внешней нагрузке.
4. Численные значения реологических характеристик асфальтогранулята, найденные экспериментальным путем в зависимости от действия нагрузки, позволяют определять деформации материала с учетом его толщины. Это имеет практическую значимость при определении по напряженно-деформированному состоянию материала технических и технологических параметров рабочих органов уплотняющих машин, в частности параметров силового воздействия.

Список литературы

1. Гезенцвей, Л.Б. Дорожный асфальтобетон / Н.В. Горелышев, А.М. Богуславский, И.В. Королев; под редакцией Л.Б. Гезенцвея. – 2-е изд. – М.: Транспорт, 1985. – 350 с.
2. Справочная энциклопедия дорожника. Т. I: Строительство и реконструкция автомобильных дорог / под ред. А.П. Васильева. – М.: Информавтодор, 2005. – 646 с.
3. Справочник дорожного мастера. Строительство, эксплуатация и ремонт автомобильных дорог / под ред. С.Г. Цупикова. – М.: Инфра-Инженерия, 2009. – 924 с.

4. Горельшев, Н.В. Технология и организация строительства автомобильных дорог / Н.В. Горельшев. – М.: Транспорт, 1992. – 551 с.
5. Пилецкий, М.Э. Определение характеристик битумоминеральной смеси при укладке в выбоину дорожного покрытия струйно-инъекционным методом / М.Э. Пилецкий, К.А. Андрианов, А.Ф. Зубков // Приволжский научный журнал. – Н.Новгород: ННГАСУ, 2018. – №2. – С. 70–77.
6. Носов, С.В. Мобильные энергетические средства: выбор параметров и режимов работы через реологические свойства опорного основания: монография / С.В. Носов. – Липецк: ЛГТУ, 2006. – 228 с.
7. Nunn, M. Design and Assessment of Long-Life Flexible Pavements / M. Nunn, B.W. Ferne // Transportation Research Circular № 503, 2001: Perpetual Bituminous Pavements.
8. ZTV Asphalt-StB 01: Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Fahrbahndecken aus Asphalt (2001), FGSV Nr. 799.
9. Wellner, F. Auswirkung der Alterung und des Schichtenverbundes auf den Beanspruchungszustand von Asphaltbefestigungen / F. Wellner, S. Werkmeister, D. Ascher // Strasse und Autobahn. – 2012. – No. 7. – P. 430–437.
10. Fort, L. Massive impact / L. Fort // Roads & Bridges. – October 2014. – P. 28.
11. Villiers, R.L. Maintenance engineering standards to fulfil the legal duty of road authorities towards saferoads / R.L. Villiers // Dissertation presented for the Degree of Doctor of Philosophy (Stellenbosch University), March 2016 – 246 p. – URL: <https://scholar.sun.ac.za>.
12. Wang, P. Asphalt Pavement Pothole Detection and Segmentation Based on Wavelet Energy Field / P. Wang, Y. Hu, Y. Dai, and M. Tian // Journal Mathematical Problems in Engineering. – 2017. – 13 p. – URL: <https://doi.org/10.1155/2017/1604130>.
13. The effect of modifying additives on the consistency and properties of bitumen binders / A. Plewa, P.S. Belyaev, K.A. Andrianov, A.F. Zubkov, V.A. Frolov // Advanced Materials and Technologies. – 2016. – № 4. – P. 35–40.
14. Зубков, А.Ф. Технология строительства и ремонта дорожных покрытий нежесткого типа с учетом температурных режимов асфальтобетонных смесей: монография / А.Ф. Зубков, К.А. Андрианов, А.И. Антонов, В.Г. Однолько. – Тамбов: Изд-во ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2017. – 316 с.
15. Алферов, В.И. Дорожные материалы на основе битумных эмульсий / В.И. Алферов. – Воронеж: Изд-во Воронеж. гос. ун-та, 2003 (ИПФ Воронеж). – 146 с.
16. Максименко, А.А. Исследование нормальных напряжений при упругопластичном контактном взаимодействии / А.А. Максименко, Н.В. Котенков, А.Д. Перфильева // Ползуновский вестник. – 2009. – №1–2. – С. 264–266.
17. Апестин, В.К. О расхождении проектных и нормативных сроков службы дорожных одежд / В.К. Апестин // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2011. – №1. – С. 18–20.
18. Пилецкий, М.Э. Влияние транспортной нагрузки на качество ремонтных работ дорожных покрытий нежесткого типа с применением струйно-инъекционного метода / М.Э. Пилецкий, К.А. Андрианов, А.Ф. Зубков, М.А. Пороженко // Academia. Архитектура и строительство. – М., 2019. – №1. – С. 115–121.
19. Сенибабнов, С.А. Анализ нормативной документации по расчету прочностных характеристик дорожных одежд нежесткого типа по допускаемому упругому прогибу / С.А. Сенибабнов, К.А. Андрианов, А.Ф. Зубков // Вестник ВГАСУ. Научный журнал строительства и архитектуры. – Воронеж: ВГТУ, 2019. – № 1(53). – С. 28–43.
20. Пилецкий, М.Э. Ямочный ремонт покрытий нежесткого типа инъекционно-струйным методом / М.Э. Пилецкий, И.В. Дидрих, А.Ф. Зубков, Е.Н. Туголуков // Научный журнал строительства и архитектуры ВГТУ (г.Воронеж). – 2018. – № 1 (49). – С. 80–88.

References

1. Gezenzvey, L.B. Road asphalt to-concrete / N.V. Gorelyshev, A.M. Boguslavsky, I.V. Korolev; edited by L.B. Gezentsveya // Publishing house of the avto roe. – М.: Transport, 1985. – 350 p.

2. Reference encyclopedia of the road builder. Vol.I: Builds property and renovation structure of road horn / under red. A.P. Vasilyeva. – M.: Informavtodor, 2005. – 646 p.
3. Reference ochnik of the road master. Construction, operation and repair of motor vehicles / under red. S.G. Tsupikova. – M.: Infra-Engineering, 2009. – 924 p.
4. Gorelyshev, N.V. Technology and organization of the construction of motor roads / N.V. Gorelyshev. – M.: Transport, 1992. – 551 p.
5. Piletskiy, M.E. Determination of the characteristics of bitumen and neral mixtures when it is used in the selection of the road surface with jet-injection method / M.E. Piletsky, K.A. Andrianov, A.F. Zubkov // *Privolzhsky scientific journal*. – N.Novgorod: NNGASU, 2018. – No 2. – P. 70–77.
6. Nosov, S.V. Mobile energy media: the choice of parameters and operating modes through the rheological properties of the support base: monograph / S.V. Nosov. – Lipetsk: LGTU, 2006. – 228 p.
7. Nunn, M. Design and Assesment of Long-Life Flexible Pavements / M. Nunn, B.W. Ferne // *Transportation Research Circular № 503*, 2001: Perpetual Bituminous Pavements.
8. ZTV Asphalt-StB 01: Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Fahrbahndecken aus Asphalt (2001), FGSV Nr. 799.
9. Wellner, F. Auswirkung der Alterung und des Schichtenverbundes auf den Beanspruchungs zustand von Asphaltbefestigungen / F. Wellner, S. Werkmeister, D. Ascher // *Strasse und Autobahn*. – 2012. – No. 7. – P. 430–437.
10. Fort, L. Massive impact / L. Fort // *Roads & Bridges*. – October 2014. – P. 28.
11. Villiers, R.L. Maintenance engineering standards to fulfil the legal duty of road authorities towards saferoads / R.L. Villiers // *Dissertation presented for the Degree of Doctor of Philosophy (Stellenbosch University)*, March 2016 – 246 p. – URL: <https://scholar.sun.ac.za>.
12. Wang, P. Asphalt Pavement Pothole Detection and Segmentation Based on Wavelet Energy Field / P. Wang, Y. Hu, Y. Dai, and M. Tian // *Journal Mathematical Problems in Engineering*. – 2017. – 13 p. – URL: <https://doi.org/10.1155/2017/1604130>.
13. The effect of modifying additives on the consistency and properties of bitumen binders / A. Plewa, P. S. Belyaev, K. A. Andrianov, A. F. Zubkov, V. A. Frolov // *Advanced Materials and Technologies*. – 2016. – № 4. – P. 35–40.
14. Zubkov, A.F. Technology builds works and repairs of non-rigid road surfaces taking into account temperature regimes of asphalt concrete mixes: monograph / A.F. Zubkov, K.A. Andrianov, A.I. Antonov, V.G. Odnolko. – Tambov: Publishing house of FG BOU VO «TGTU», 2017. – 316 p.
15. Alferov, V.I. Expensive materials based on bitumen emulsions / V.I. Alferov. – Voronezh: Publishing house Voronezh state un-ta, 2003 (IPF Voronezh). – 146 p.
16. Maksimenko, A.A. Investigation of normal stresses in the case of elastoplastic contact interaction / A.A. Maksimenko, N.V. Kotenkov, A.D. Perfiliev // *Polzunovskiy vestnik*. – 2009. – No. 1–2. – P. 264–266.
17. Apestin, V.K. On the expenditure of the design and standard service life of road clothes for the railway / V.K. Apestin // *Science and technology in the road industry*. – 2011. – No. 1. – P. 18–20.
18. Piletsky, M.E. Influence of transport ortal load on the quality of repair works of road surfaces of non-rigid type pa with the use of jet-injection method / M.E. Piletsky, K.A. Andrianov, A.F. Zukbov, M.A. Porozhenko // *Academia. Arch architecture and build grace*. – M., 2019. – No. 1. – P. 115–121.
19. Senibabnov, S.A. Analysis of the normative documentation for the calculation of strength characteristics of road vehicles of non-rigid type according to the tolerance of the elastic deflection / S.A. Senibabnov, K.A. Andrianov, A.F. Zubkov // *Vestnik VGASU. Scientific journal of construction and architecture*. – Voronezh: VGTU, 2019. – No. 1 (53). – P. 28–43.
20. Piletsky, M. E. Pitting repair of coatings of a non-soft type by injection-o-jet method / M.E. Piletsky, I.V. Didrich, A.F. Zubkov, E.N. Tugolukov // *Scientific journal builds houses and architectures of VSTU (Voronezh)*. – 2018. – No. 1 (49). – P. 80–88.

УДК 721.021.27:674:691-413(470+571)

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

Россия, 440028, г. Пенза,
ул. Германа Титова, д.28,
тел.: (8412) 48-27-37; факс: (8421) 48-74-77

Туманов Александр Вадимович,
студент

Иванцов Роман Александрович,
студент,

Пензяков Влад Дмитриевич,
студент

Шитова Инна Юрьевна,
кандидат технических наук, доцент кафедры
«Технологии строительных материалов
и деревообработки»
E-mail: Innalife1@rambler.ru

*Penza State University of Architecture
and Construction*

Russia, 440028, Penza, 28, German Titov St.,
tel.: (8412) 48-27-37; fax: (8412) 48-74-77

Tumanov Aleksander Vadimovich,
Student

Ivantsov Roman Aleksandrovich,
Student

Penzyakov Vlad Dmitrievich,
Student

Shitova Inna Yurievna,
Candidate of technical Sciences, Associate
Professor of the department «Technologies of
Building Materials and Woodworking»
E-mail: Innalife1@rambler.ru

ПЕРСПЕКТИВЫ МНОГОЭТАЖНОГО ДЕРЕВЯННОГО СТРОИТЕЛЬСТВА ИЗ CLT-ПАНЕЛЕЙ В РОССИИ

А.В. Туманов, Р.А. Иванцов, В.Д. Пензяков, И.Ю. Шитова

Рассмотрен технологический процесс изготовления принципиально нового композиционного материала из древесины – CLT-панелей; приведены основные недостатки и преимущества панелей; рассмотрена перспектива многоэтажного деревянного строительства из CLT-панелей в России.

Ключевые слова: CLT-технология, CLT-панель, многоэтажное строительство, древесина, ламель

THE PROSPECTS OF MULTI-STOREY WOODEN CONSTRUCTION FROM CLT-PANELS IN RUSSIA

A.V. Tumanov, R.A. Ivantsov, V.D. Penzyakov, I.Yu. Shitova

The article considers the technological process of manufacturing a fundamentally new composite material from wood – CLT-panels; the main disadvantages and advantages of panels are given; the prospect of multi-storey wooden construction from CLT-panels in Russia is considered.

Keywords: CLT-technology, CLT-panel, multi-storey construction, wood, lamella

В конце прошлого века австрийская ассоциация деревообрабатывающей промышленности провела исследования, результатом которых стала разработка новой технологии модифицирования древесины, получившей название «CLT-технология». Вскоре новая технология была внедрена в практику строительства.

Наибольший спрос на производство CLT-панелей для использования их в строительстве односемейных и даже многоэтажных зданий был в Европе. Производство железобетона приводит к огромным долям выбросов вредных веществ в атмосферу, а при использовании CLT-технологии древесина не только не уступает ж/б конструкциям по прочности и другим важным при строительстве параметрам, но и является куда более экологичным материалом в производстве, транспортировке и эксплуатации [1, 2].

Самая высокая конструкция из дерева в мире построена в Норвегии. Это 18-этажное многофункциональное здание принадлежит норвежскому Mjøstårnet («Мьёсторнет») в Брумундале (рис. 1). Стройка завершилась в марте 2019 года. Высота кон-

струкции составляет 85,4 м. Проект Mjøstårnet был разработан норвежской студией Voll Arkitekter для AB Invest. Деревянные конструкции были установлены норвежской фирмой Moelven Limtre, в том числе несущие конструкции из клееного бруса. Поперечный клееный брус использовался для лестничных клеток, лифтовых шахт и балконов. Все ключевые конструктивные компоненты Mjøstårnet состоят из инженерной древесины, использующей клееную древесину для балок и колонн и поперечно-слоистую древесину для основных стен, содержащих лифтовые и лестничные шахты здания. Клеевые ламинированные колонны были изготовлены с предварительно просверленными отверстиями и собраны на месте в вертикальные фермы высотой до пяти этажей, обеспечивающие устойчивость к горизонтальным и вертикальным силам. Плиты перекрытия для уровней 11 и ниже также изготовлены из деревянных балок, покрытых слоистым шпоном и тонким 50-миллиметровым слоем бетона для акустических и вибрационных характеристик, в то время как уровни 12 и выше имеют плиты перекрытия, полностью состоящие из бетона, чтобы увеличить вес и достичь желаемого динамического поведения в периоды сильных ветров (рис. 2). То есть, в Mjøstårnet бетонные плиты использовались на верхних семи этажах, чтобы соответствовать критериям комфорта и акустики.



Рис. 1. Mjøstårnet в Брумундале



Рис. 2. Конструкция Mjøstårne

До проекта Mjøstårnet звание самого высокого деревянного здания принадлежало общежитию Канадского университета Британской Колумбии (рис. 3). Это 18-этажное здание, высота которого составляет 53 метра, является проектом Канадской архитектурной фирмы «Acton Ostry». Общежитие получило название «Brock Commons» и было возведено за рекордно малый срок – 70 дней. Сооружение не полностью построено из чистой древесины, фундаментом является традиционная бетонная подушка. Также в конструкции имеется два железобетонных стержня, выполняющих функцию опоры всего здания. Крепление деревянных брусьев тоже не обошлось без применения металла, а лифтовые шахты и лестничные пролеты заключены в металлические конструкции. Все остальные элементы – чистая древесина. При возведении общежития в атмосферу выброшено на 2432 тонны меньше углекислого газа, чем при сооружении аналогичного здания из традиционных материалов.

Инновационная технология изготовления CLT-панелей предоставляет огромную свободу выбора архитектурного стиля. Помимо базовых конструкций, риск ошибок возведения уникальных проектов при строительстве сокращается до нуля ввиду вырезания панелей на современном оборудовании с точностью до миллиметра.

Выбор нескольких сортов древесины в составе одной панели позволяет грамотно распределить слои, устойчивые к погодным условиям и эффективные для внутренней отделки. Абсолютно ровные поверхности с отсутствием стыков благодаря современным технологиям дают вариативность и простор действий для дизайнерских решений [3, 4].



Рис. 3. Общежитие Канадского университета

Одним из ярких архитектурных решений является зоопарк Цюриха, открытый в 2014 г. (рис. 4). Строение представляет собой открытый ангар с деревянной крышей в виде свода-оболочки и является самым большим свободным пролетом деревянной крыши в Швейцарии. Общая площадь парка составляет 10000 кв. м. Основная функция конструкции – поддержание микроклимата в условиях сезонных изменений погоды. Это возможно благодаря обеспечению влажного и теплого тропического климата внутри помещения, характерного для естественной среды обитания животных.

CLT-панель – Cross Laminated Timber, или же перекрестно-клееная древесина, перекрестно-склеенная плита (ПСП).

CLT-панели состоят из трех, пяти и семи слоев ламелей, все слои в них перпендикулярны соседним. CLT-панели не скручиваются и не теряют стабильности геометрических размеров долгое время [1...5].



Рис. 4. Зоопарк в Цюрихе

Изготовление CLT-панелей можно сравнить с технологией изготовления клееного бруса. Исходным сырьем служит обрезной пиломатериал, как правило хвойных пород, с естественной влажностью: сосны, лиственницы, пихты или ели; допускается использование твердой древесины: дуба и т.п., но это будет намного дороже. Для внутренних слоев панелей подходит древесина с наилучшими структурными качествами, для внешних слоев – древесина с наилучшими эстетическими свойствами. Также бывает, что в одной панели используют разные породы. Важно отметить, что направление древесных волокон чередуется, это необходимо для обеспечения максимальной прочности материала, а также панели, склеенные таким образом, очень сложно повредить в процессе эксплуатации.

При производстве используется натуральный клеевой состав класса E1. Таким образом, панели и все конструкции из них являются полностью натуральными и абсолютно экологичными, что очень важно в современных реалиях.

Первым этапом изготовления панелей является сушка древесины. Доски проходят отбор и помещаются в сушильные штабеля на прокладках для предварительного проветривания и предотвращения поражения грибками. Сушка осуществляется равномерно, быстро и с сокращением потерь на растрескивание. Чтобы такой процесс прошел успешно, конвективные сушильные камеры должны быть правильно сконфигурованы по обеспечению воздушного потока, теплообмена, системе увлажнения, дефлекторам и т.д. Качество CLT-панелей напрямую зависит от качества сушки. Пакеты пиломатериала после сушки перемещаются в остывочное отделение.

Каждая единица сухого пиломатериала после стабилизации проходит участок контроля параметров влажности и кривизны, после чего поступает на строгальный станок для черновой калибровки, это помогает выявить внутренние дефекты. После черновой калибровки геометрия детали готова к дальнейшей обработке. Откалиброванный материал поступает на дефектовку, а затем на вырезку недопустимых в производстве панелей пороков древесины. Все операции автоматизированы, потому что производство CLT-плит массовое и скорость движения деталей не предполагает человеческого труда.

После заготовки детали сортируются по параметрам внешнего вида и техническим характеристикам. Уже готовые детали партиями направляются в линию торцевого сращивания, где продольно соединяются с помощью сращивания «минишип», а после этого нарезаются по длине в размеры будущего слоя. После торцевого сращивания ламели складываются на время адгезии клея.

Следующий этап – нанесение клея и запрессовка. Заготовки калибруются для снятия наплывов клея и придания точных размеров в четырехстороннем станке и автоматически поступают на наборную станцию, совмещенную с прессом. Для лучшего склеивания с верхней и нижней сторон каждой заготовки состругивают по 2,5 мм, а затем по 3,8 мм с боковой для получения ровной поверхности. После чего древесина обрезается до нужной длины. Далее автоматический станок обрабатывает заготовку: нанесение клеевого состава происходит послойно, с постоянной скоростью. Главными критериями склейки является герметичность и отсутствие пустот, воздушных зазоров и отверстий. После проклейки в прессе под сильным давлением панели становятся прочнейшим монолитом, несущая способность которого не уступает железобетону: панель толщиной 250 мм выдерживает нагрузку 500 т. Для окон и дверей в панелях оставляются проемы на наборочных станциях.

CLT-панели склеиваются только под прессом. Существует два варианта прессовки: для спрессовки и склеивания ровных плит применяется гидравлический способ, для изогнутых деталей – вакуумный. Нагрузка при этом распределяется равномерно.

Далее происходит процесс удаления лишнего клея. Выравнивание панели происходит вместе с ее калибровкой. Обработка ведется на широкоформатных строгальных или шлифовальных станках.

Последним этапом является проверка готовых изделий отделом технического контроля. Дефекты устраняются вручную. Проверенные ОТК панели переводятся на участок нарезки сборочных соединений. Обработывающий центр производит точную

форматную обрезку панелей в размеры, а также засверливание технологических отверстий и нарезку профильных стыков. На выходе получается готовая деталь домокомплекта, которая упаковывается и направляется на склад готовой продукции.

Как и любой строительный материал, CLT-панели имеют свои недостатки и преимущества.

Основные недостатки:

– большая стоимость производства таких панелей. Себестоимость одного кубического метра панелей обходится дороже изготовления такого же объема клееного бруса;

– при возведении зданий рабочие всегда сталкиваются с непредвиденными обстоятельствами, в данном случае CLT-панель может потерять свои физико-механические характеристики из-за атмосферных воздействий, таких, как ультрафиолетовое излучение и влажные осадки;

– огромный вес панелей и их большие габариты (рис. 5). Зачастую специализированная техника не может подъехать к участку строительства, из-за этого возведение здания либо замедляется, либо вовсе останавливается. Уменьшение размеров панелей не устранил эту проблему, а наоборот, усугубит положение, так как увеличится себестоимость панели и время ее сборки;

– при строительстве дома в холодном климате необходим утеплительный слой, как и для других типов зданий. Холодный климат является фактором, которым нельзя пренебрегать;

– неизвестность срока эксплуатации таких домов. Пока эксперты делают предположения о сроках, многие застройщики отдают предпочтение традиционным материалам;

– дефицит квалифицированных монтажников, в частности, в нашей стране, так как пока мало кто имеет достаточный опыт в сфере строительства модульных зданий из перекрестно-склеенных панелей.



Рис. 5. Монтаж CLT-панелей

Основные достоинства:

– экологичность. Вся панель состоит из натуральной древесины и создает здоровый микроклимат;

– герметичность. Стены из CLT-панелей не продуваются ветром, в них нет щелей, и поэтому они не нуждаются в герметизации;

– высокая пожаростойкость. При проведении испытаний стена толщиной 180 мм нагрелась с обратной стороны на 10°C за час под воздействием нагрева 1200°C;

– низкая теплопроводность. Показатель теплоизоляции панелей выше, чем у бетона и кирпича, в 3–5 раз;

- статическая прочность, стабильность габаритов во всех направлениях и отсутствие динамических вибраций;
- отсутствие усадки, а следовательно, возможность монтировки панорамных окон в уже готовые проемы;
- внутренняя и наружная отделка здания без подготовительных работ и возможность использования любых декоративных материалов;
- строительство многоэтажных зданий из древесины;
- новые возможности в архитектурных решениях проекта (рис. 6).



Рис. 6. Многоэтажные здания из древесины

К прочим достоинствам можно отнести:

- вес конструкции в 6 раз меньше, чем аналогичного здания из бетона;
- высокое шумоподавление;
- высокая сейсмоустойчивость. Конструкция выдерживает девятибалльные землетрясения;
- минимальное количество строительного мусора и отходов при строительстве.

В плане развития CLT-панелей Россия отстает от Европы, где уже широко применяется эта технология. Несмотря на все очевидные плюсы, CLT-технологии в России развиваются медленно по ряду причин.

Во-первых, для развития данной технологии необходимо пересмотреть устаревшее законодательство: в РФ запрещено строить деревянные дома выше пяти этажей и площадью более 500 м².

Во-вторых, есть некоторая проблема в психологии жителей нашей страны. Абсолютное большинство считают деревянные дома неогнеупорными и прочными и отдают предпочтения кирпичному или панельному домостроению из ж/б. На самом деле это не так, современные технологии обработки древесины антипиринами, антисептиками и другими веществами в совокупности с технологией CLT исключают почти все минусы древесины как строительного материала.

В-третьих, необходимо изменить технологию под наш климат, который менее благоприятен, чем в Европе.

В-четвертых, оборудование для производства CLT-панелей дорогостоящее, в связи с этим необходима поддержка от государства на начальном этапе.

Но несмотря на все это, в России все-таки развивается эта технология. Например, в Крымске построен восьмиквартирный дом, послуживший спасением от паводков рек, в Иркутской области – четырехквартирный дом по социальной программе РЖД для своих сотрудников.

Можно прогнозировать, что CLT-технология будет только набирать обороты в России и в ближайшем будущем дома из CLT-панелей будут строиться повсеместно.

Список литературы

1. Самойлов, В.С. Деревянные дома / В.С. Самойлов. – Электрон. текстовые данные. – М.: Аделант, 2004. – 223 с. – 5-93642-031-0. – URL: <http://www.iprbookshop.ru/44075.html>

-
2. Самойлов, В.С. Строительство деревянного дома / В.С. Самойлов. – Электрон. текстовые данные. – М. : Аделант, 2010. – 384 с. – 978-5-93642-104-4. – URL: <http://www.iprbookshop.ru/44155.html>
 3. Кетова, Е.В. Дерево в архитектуре. Часть 1. Эволюция малоэтажного дома / Е.В. Кетова, Р.И. Сазонова. – Электрон. текстовые данные. – Новосибирск: Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин), 2015. – 125 с. – 978-5-7795-0757-8. – URL: <http://www.iprbookshop.ru/68762.html>
 4. Кетова, Е.В. Дерево в архитектуре. Часть 2. Эволюция малоэтажного дома / Е.В. Кетова, Р.И. Сазонова. – Электрон. текстовые данные. – Новосибирск: Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин), 2016. – 149 с. – 978-5-7795-0780-6. – URL: <http://www.iprbookshop.ru/68763.html>
 5. Шитова, И.Ю. Строительные материалы в деревянном домостроении: учебное пособие / И.Ю. Шитова. – Пенза: ПГУАС, 2020. – 140 с.
 6. Электронные ресурсы:
<https://www.pslcomp.ru/>
<https://cltpanels.ru/>
<https://zen.yandex.ru/>
<https://www.lesprom.com/ru/>
<http://stroyka.by/>
<https://blog.brigada174.ru/>
<http://norvex.pro/>
<http://archiwood.ru/>

References

1. Samoilov, V.S. Wooden houses / V.S. Samoilov. – Electron. text data. – M.: Adelant, 2004. – 223 p. – 5-93642-031-0. – URL: <http://www.iprbookshop.ru/44075.html>
2. Samoilov, V.S. Construction of a wooden house / V.S. Samoilov. – Electron. text data. – M.: Adelant, 2010. – 384 p. – 978-5-93642-104-4. – URL: <http://www.iprbookshop.ru/44155.html>
3. Ketova, E.V. Tree in architecture. Part 1. Evolution of a low-rise building / E.V. Ketova, R.I. Sazonova. – Electron. text data. – Novosibirsk: Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), 2015. – 125 p. – 978-5-7795-0757-8. – URL: <http://www.iprbookshop.ru/68762.html>
4. Ketova, E.V. Tree in architecture. Part 2. Evolution of a low-rise building / E.V. Ketova, R.I. Sazonova. – Electron. text data. – Novosibirsk: Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), 2016. – 149 p. – 978-5-7795-0780-6. – URL: <http://www.iprbookshop.ru/68763.html>
5. Shitova, I.Yu. Building materials in wooden house construction: textbook / I.Yu. Shitova. – Penza: PGUAS, 2020. – 140 p.
6. Electronic resources:
<https://www.pslcomp.ru/>
<https://cltpanels.ru/>
<https://zen.yandex.ru/>
<https://www.lesprom.com/ru/>
<http://stroyka.by/>
<https://blog.brigada174.ru/>
<http://norvex.pro/>
<http://archiwood.ru/>

Пензенский государственный университет
архитектуры и строительства

Россия, 440028, г. Пенза,
ул. Германа Титова, д.28,
тел.: (8412) 48-27-37; факс: (8421) 48-74-77

Хвастунов Виктор Леонтьевич,
доктор технических наук, профессор
E-mail: techbeton@pguas.ru

Махамбетова Камажай Нурабуллаевна,
кандидат технических наук, доцент
E-mail: knmakhambetova@gmail.com

Лавров Иван Юрьевич,
магистрант
E-mail: lavrov0909@gmail.com

Хвастунов Алексей Викторович,
кандидат технических наук, директор
общества с ограниченной ответственностью
«Проектно-конструкторское бюро «Зодчий»
E-mail: alexey_pnz@mail.ru

*Penza State University of Architecture
and Construction*

Russia, 440028, Penza, 28, German Titov St.,
tel.: (8412) 48-27-37; fax: (8412) 48-74-77

Khvastunov Victor Leontievich,
Doctor of Sciences, Professor
E-mail: techbeton@pguas.ru

Makhambetova Kamagay Nurabullaevna,
Candidate of Sciences, Associate Professor
E-mail: knmakhambetova@gmail.com

Lavrov Ivan Yurievich,
Undergraduate student
E-mail: lavrov0909@gmail.com

Khvastunov Aleksey Victorovich,
Candidate of Sciences, director of the limited
liability company «Design and construction
Bureau «Zodchiy»
E-mail: alexey_pnz@mail.ru

ОБ ОПЫТЕ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СТАНИНЫ РАЗРЫВНОЙ МАЛОГАБАРИТНОЙ УСТАНОВКИ ИЗ ВЫСОКОПРОЧНОГО РЕАКЦИОННО-ПОРОШКОВОГО БЕТОНА С НИЗКИМ УДЕЛЬНЫМ РАСХОДОМ ЦЕМЕНТА НА ЕДИНИЦУ ПРОЧНОСТИ

В.Л. Хвастунов, К.Н. Махамбетова, И.Ю. Лавров, А.В. Хвастунов

Представлен опыт проектирования и изготовления станины разрывной малогабаритной установки из высокопрочного реакционно-порошкового бетона с низким удельным расходом цемента на единицу прочности. Разработан состав высокопрочного бетона класса В80-В120 с высоким модулем упругости, высокой морозостойкостью, низким водопоглощением по массе, низкой величиной усадки и ползучести, высоким уровнем параметрических точек, повышенной величиной сцепления арматуры с бетоном, низким коэффициентом логарифмического декремента затухания, повышенной коррозионной стойкостью и долговечностью. Отработана технология изготовления станин из высокопрочного железобетона.

Ключевые слова: железобетонная станина, высокопрочный реакционно-порошковый бетон и железобетон, разрывная малогабаритная установка, опалубка, арматурный каркас, трехмерная модель, элементы станочного оборудования, прочность, водопоглощение, усадка, ползучесть, коррозионная стойкость, долговечность

ON THE EXPERIENCE OF MANUFACTURING A BEDPLATE OF A COMPACT EXPLOSIVE INSTALLATION FROM HIGH-STRENGTH REACTION-POWDER CONCRETE WITH A LOW SPECIFIC CONSUMPTION OF CEMENT PER A UNIT OF STRENGTH

V.L. Khvastunov, K.N. Makhambetova, I.Yu. Lavrov, A.V. Khvastunov

The article presents the experience of designing and manufacturing a bedplate of a compact explosive installation from high-strength reaction-powder concrete with a low specific consumption

of cement per unit of strength. The composition of high-strength concrete of B80-B120 class has been developed with a high modulus of elasticity, high frost resistance, low water absorption by weight, low shrinkage and creep value, with a high level of parametric points, with an increased value of adhesion of reinforcement to concrete, with a low coefficient of logarithmic damping decrement, increased corrosion resistance and durability. The technology of manufacturing a bedplate from high-strength reinforced concrete has been tested.

Keywords: reinforced concrete bedplate, high-strength reaction-powder concrete and reinforced concrete, explosive compact installation, formwork, reinforcing cage, three-dimensional model, elements of machine equipment, strength, water absorption, shrinkage, creep, corrosion resistance, durability

Одной из важнейших задач современности является снижение металлоемкости машин и оборудования в энергетическом, тяжелом, химическом, сельскохозяйственном, строительном-дорожном машиностроении, станкостроении, приборостроении, машиностроении для легкой и пищевой промышленности, для животноводства и кормопроизводства и во многих других отраслях.

Исследования и практика показали, что эффективным направлением экономии металла в машиностроении является широкое использование неметаллических и композиционных материалов, прежде всего бетона и железобетона. Отмечены технические и экономические преимущества применения бетонных и железобетонных элементов оборудования вместо чугунных и из проката черных металлов. Например, расход металла при замене чугунных станин станков на железобетонные сокращается в 2–3 раза, прессов – в 2–4 раза. В среднем на 1 м³ железобетона в машиностроении высвобождается до 2 т чугуна или 1,8 т проката черных металлов. Капиталовложения в производство 1 т чугуна больше в 20–25 раз, чем в производство 1 т железобетона [1, 2].

При изготовлении железобетонных элементов машин, станков, прессов и другого оборудования снижается трудоемкость их изготовления в 1,5–2 раза. Еще больший экономический эффект достигается за счет выбора номенклатуры станков, например, в металло- и деревообрабатывающей отрасли типа точильных, шлифовально-полировальных, токарных, фуговальных, шипорезных и др. Так, при изготовлении железобетонной станины вместо чугунной точильно-шлифовального станка, представляющей собой тумбу квадратного сечения с размерами в плане 500×500 мм и высотой 800 мм с выемками, полостями и отверстиями, согласно типовым проектам расход металла сократился в 5 раз [2]. Регулируя в широких пределах массу железобетонной станины, можно станки и оборудование с ними устанавливать непосредственно на полы промышленных предприятий без устройства специальных фундаментов, что также обеспечивает достижение высокой эффективности. Эксплуатационные и прочностные испытания машин и оборудования с железобетонными элементами выявили их технические преимущества, заключающиеся в улучшении демпфирующих и звукопоглощающих характеристик, повышении точности изготовления деталей, улучшении условий труда рабочих, обеспечении возможности безфундаментной установки агрегатов на месте их эксплуатации.

Таким образом, по совокупности представленной информации можно сделать вывод о технической целесообразности и высокой экономической эффективности изготовления машин с железобетонными станинами.

В соответствии с рекомендациями по проектированию базовых деталей станочного оборудования и опорных конструкций из бетона и железобетона [3–7] предпосылками использования конструктивных возможностей различных бетонов для изготовления деталей и элементов станочного оборудования являются: полнота информации о действующих на изделие нагрузках и воздействиях, подробное изучение и знание прочностных и деформационных характеристик бетона. Необходимы бетоны с высокой и сверхвысокой прочностью (M1000 и более), низкими усадкой, проницаемостью, логарифмическим декрементом затухания, высоким модулем упругости, повышенной коррозионной стойкостью и долговечностью. Кроме того, готовые железобетонные элементы оборудования должны удовлетворять требованиям точности, чистоты поверхности, должны иметь хороший товарный вид и высокие потребительские свойства на уровне изделий машиностроения. Такому обширному и разностороннему комплексу требований к бетону и железобетону удовлетворяют в полной мере разработанные нами высокопрочные порошково-активированные бетоны и фибробетоны с низким

удельным расходом цемента на единицу прочности (3,20-3,50 кг/МПа) [8-15]. В зависимости от расхода цемента при низком его содержании в бетоне получены пластичные бетонные смеси с ОК=12-18 см, с плотностью 2350-2500 кг/м³, с прочностью бетона в пределах от М400 до М1500, с модулем упругости от 2,8·10³ до 55·10³, с водопоглощением по массе в пределах 1,2-2,3 %, с величиной усадки и ползучести в пределах 0,2-0,4 мм/м, с уровнем параметрических точек, по О.Я. Бергу, в пределах 0,85-0,92 мм/м, с величиной сцепления арматуры с бетоном в пределах 13-23 МПа.

На предприятиях Российской Федерации широко используются различные типы резины, текстиля, кордовых нитей, геосетки дорожных покрытий, пластические массы, клеевые соединения, для испытания которых на прочность при растяжении, удлинение при разрыве, ползучесть, адгезионную и когезионную прочность, для построения деформационных диаграмм и др. необходимы малогабаритные установки с регулируемыми параметрами прилагаемой нагрузки и скорости деформирования, например, согласно ГОСТ 11262-2017 (ISO 527-2:2012) «Пластмассы. Метод испытания на растяжение» и ГОСТ 411-77 «Резина и клей. Методы определения прочности связи с металлом при отслаивании (с Изменениями N 1, 2)». К сожалению, промышленные варианты таких испытательных установок со станиной из металла дорогостоящие и не всегда удовлетворяют требованиям по качественным показателям.

Разработанная испытательная установка состоит из комбинированной (горизонтальной и вертикальной) железобетонной станины, для изготовления которой использовался высокопрочный порошково-активированный бетон М800 с низким удельным расходом цемента на единицу прочности (0,2-0,3 кг/1 кгс/см²). Для формирования вертикальной и горизонтальной частей станины разрывной малогабаритной установки был запроектирован высокопрочный бетон М800-М1000 на основе многокомпонентной бетонной смеси с подвижностью по осадке стандартного конуса 12-18 см [9-12].

В качестве исходных материалов для приготовления бетонной смеси и бетона на ее основе использовались портландцемент ПЦ500Д0, крупный заполнитель из гранита фракции от 5 до 10 мм, кварцевый песок различного фракционного состава, микрокремнезем, каменная мука, гиперпластификатор на поликарбоксилатной основе. Формование частей станины осуществлялось в специально изготовленной из ламинированной древесно-волоконистой плиты опалубке. В опалубке устанавливались арматурный каркас, а также закладные элементы для монтажа узлов и деталей разрывной машины. Закладные элементы служили для установки пластинчатых направляющих. Они имели анкерные элементы с резьбовыми соединениями для надежного закрепления в массе бетона. Общий вид опалубки и арматурных каркасов приведен на рис. 1 и 2.

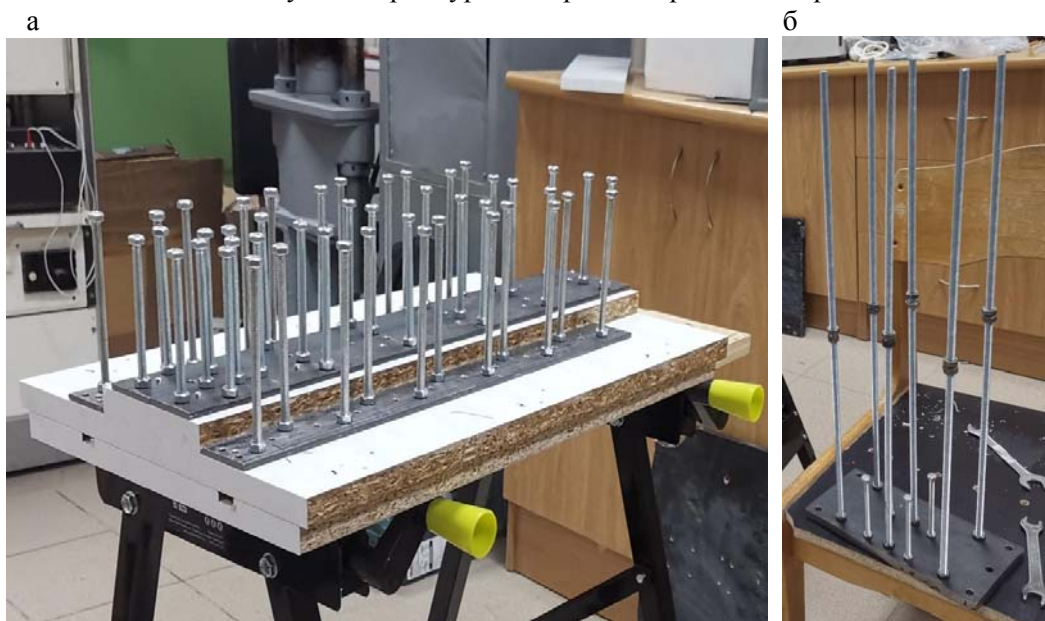


Рис. 1. Общий вид опалубки и арматурных каркасов:
а – монтаж закладных элементов; б – сборка продольной арматуры

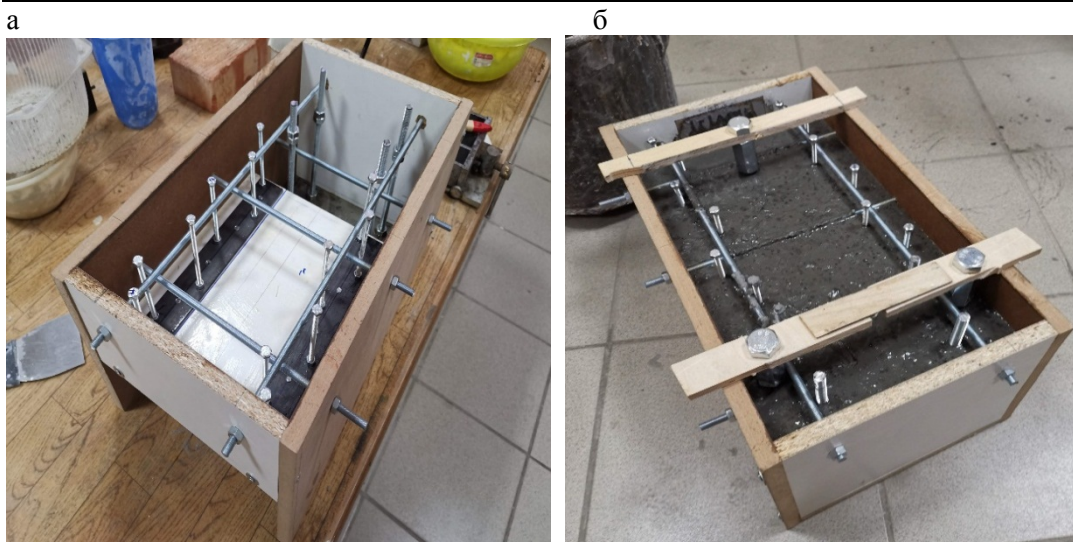


Рис. 2. Общий вид опалубки и арматурных каркасов:
 а – форма основания станины в собранном виде; б – формование (сверху установлены закладные элементы будущих опор)

Высокая подвижность бетонной смеси положительно повлияла на процесс её укладки в опалубку. Твердение бетона в опалубке происходило в нормальных температурно-влажностных условиях в течение 3 суток. После распалубки поверхность бетона была гладкой, отсутствовали пористость и видимые дефекты.

Общий вид цифровой трехмерной модели станины и изготовленной установки представлен на рис. 3.

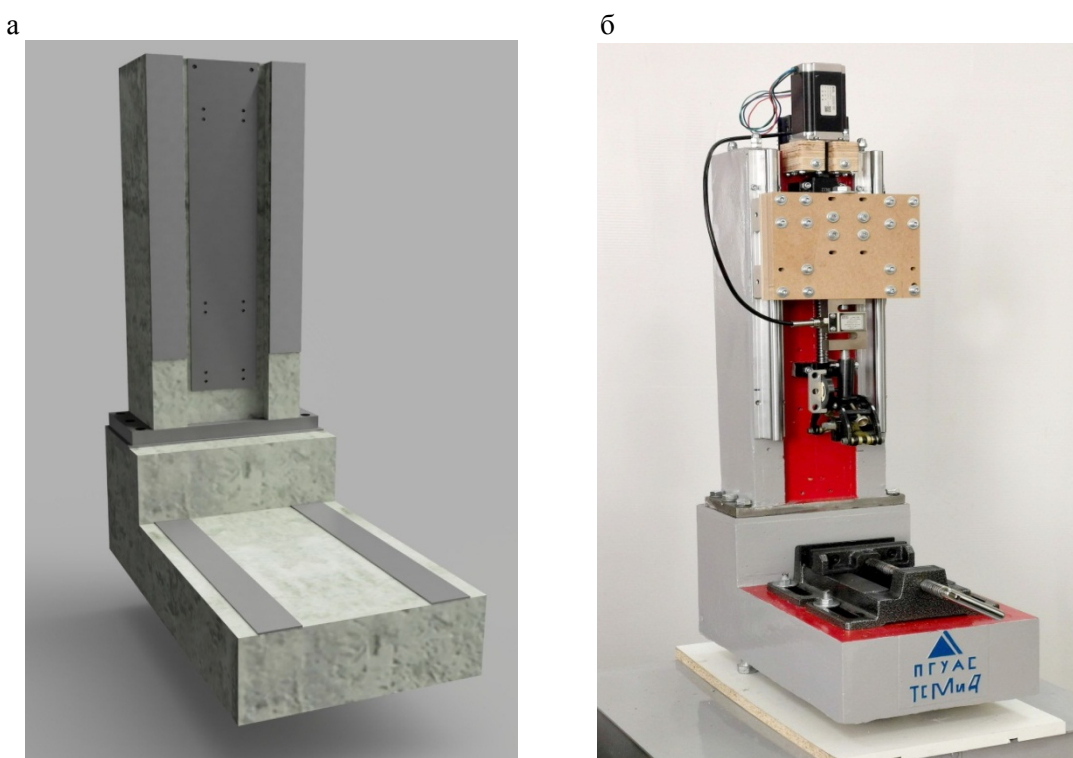


Рис. 3. Общий вид цифровой трехмерной модели станины и изготовленной установки:
 а – цифровая трёхмерная модель станины; б – изготовленная установка (закреплены направляющие, каретка, ходовой винт)

На вертикальной станине (см. рис. 3) закреплены цилиндрические направляющие, шаговый электродвигатель, приводящий в движение каретку с подвижным зажимом и

датчиком нагрузки за счет вращения ходового винта. Датчик нагрузки связан с компьютером. На горизонтальной станине имеются специальные зажимы для закрепления материала при испытании. Перемещение каретки на вертикальной станине и зажимов в горизонтальной плоскости осуществляется по металлическим направляющим, соединенным с арматурным каркасом железобетонной станины. Скорость перемещения каретки с зажимом по вертикальной станине регулируется в пределах от 0,2 мм/мин (с использованием понижающего планетарного редуктора) до 2-1000 мм/мин. В зависимости от мощности двигателя растягивающее усилие можно регулировать до 200-400 кгс. На рис. 4 по результатам исследований полимерно-битумной ленты на растяжение, проведенных на разработанной установке [16], изображена диаграмма растяжения образца, позволяющая оценить прочностные и деформационные свойства высокоэластичных материалов.

В настоящее время ведутся работы по созданию прототипа железобетонного металлообрабатывающего фрезерного станка с числовым программным управлением (рабочее поле станка 300x300 мм) (рис.5).

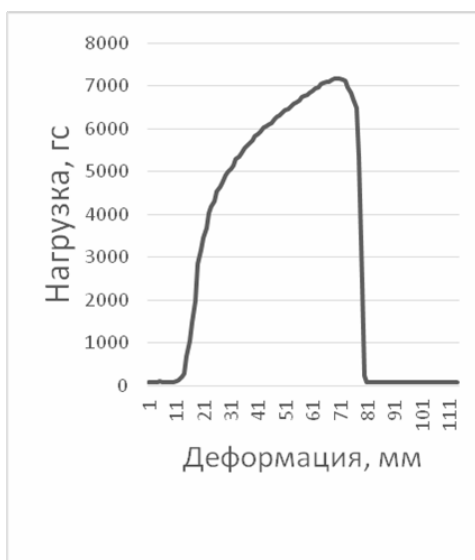


Рис. 4. Диаграмма растяжения образца полимерно-битумной ленты



Рис. 5. Проект станины из железобетона металлообрабатывающего станка с ЧПУ

Таким образом, проведенные исследования показали, что использование разработанного высокопрочного бетона М800-М1500 при изготовлении станков и оборудования в машиностроении является экономически целесообразным и технически оправданным.

Отработанная технология формирования станин малогабаритных испытательных установок из порошково-активированных пластичных бетонных смесей с осадкой конуса 12-16 см обеспечила прочностные, деформационные и эксплуатационные характеристики высокопрочного бетона, а также качественные параметры поверхности, практически не требующей дополнительной доработки шабрением и шлифованием.

Список литературы

1. Людковский, И.Г. Опорные конструкции рамного типа под оборудование / И.Г. Людковский, М.И. Браиловский, Л.Р. Спивак // Бетон и железобетон. – 1981. – №11. – С. 25–26.

2. Белогулов, П.М. Проблема замены металла железобетоном в машиностроении / П.М. Белогулов, В.А. Шумаев // Бетон и железобетон. – 1987. – №8. – С. 4–5.
3. Браиловский, М.И. Эффективные железобетонные станины / М.И. Браиловский, Л.Р. Спивак, А.В. Борисов, И.Б. Глезин, Г.В. Гладышев // Бетон и железобетон. – 1987. – №11. – С. 29–31.
4. Браиловский, М.И. О качестве железобетонных конструкций для машиностроения / М.И. Браиловский, В.И. Шарстук // Бетон и железобетон. – 1990. – №1. – С. 22–23.
5. Федонин, О.Н. Конструкторско-технологические вопросы изготовления железобетонных станин малогабаритных станков с ЧПУ / О.Н. Федонин, А.В. Хондожо, А.Н. Щербаков, Л.А. Захаров // Машиностроение и техносфера XXI века: сборник трудов XXIII Международной научно-технической конференции (Севастополь, 12-18 сентября 2016 г.). – Донецк: МСМ, 2016. – Т. 2. – С. 137-140.
6. Браиловский, М.И. Рекомендации по проектированию базовых деталей станочного оборудования и опорных конструкций под блоки агрегатированного оборудования из железобетона и специальных бетонов.
7. Тригалева, В.Н. Железобетонные станины металлорежущих станков: учеб. пособие / В.Н. Тригалева, В.О. Чеботаревич, С.М. Скоробогатов. – М.: ГНТИ «Машгаз», 1960. – 96 с.
8. Калашников, В.И. Промышленность нерудных строительных материалов и будущее бетонов / В.И. Калашников // Строительные материалы. – 2008. – №3. – С. 20–22.
9. Калашников, В.И. Высокоэффективные и высокоэкономичные бетоны нового поколения / В.И. Калашников, В.Л. Хвастунов, Ю.С. Кузнецов // Материалы I региональной научно-практической конференции «Фундаментальные исследования в Пензенской области: состояние и перспективы». – Пенза, 2010. – С. 45–55.
10. Калашников, В.И. Физико-механические и гигрометрические свойства порошково-активированных высокопрочных щебеночных бетонов и фибробетонов с низким удельным расходом цемента на единицу прочности / В.И. Калашников, А.В. Хвастунов, В.Л. Хвастунов // Научно-технический вестник Поволжья. – 2011. – №5. – С. 161–164.
11. Троянов, И.Ю. Бетонная смесь: патент на изобретение №2435746 от 01.12.2009 / Троянов И.Ю., Калашников В.И., Хвастунов В.Л., Мороз М.Н., Калашников Д.В.; опубл.: 10.12.2011. Бюл. №34.
12. Троянов, И.Ю. Бетонная смесь: патент на изобретение №2439020 от 01.12.2009 / Троянов И.Ю., Калашников В.И., Хвастунов В.Л., Мороз М.Н., Калашников Д.В.; опубл.: 10.01.2012. Бюл. №1.
13. Хвастунов, В.Л. Прочностные и деформационные характеристики высокопрочных бетонов и фибробетонов с низким удельным расходом цемента на единицу прочности / В.Л. Хвастунов, А.В. Хвастунов, В.В. Пауск // Региональная архитектура и строительства. – 2014. – №4. – С. 15–23.
14. Калашников, В.И. Параметры водопоглощения и пористости порошково-активированного высокопрочного бетона с низким удельным расходом цемента на единицу прочности / В.И. Калашников, В.Л. Хвастунов, А.В. Хвастунов, В.В. Пауск // Региональная архитектура и строительства. – 2014. – №4. – С.45–51.
15. Хвастунов, В.Л. Связь прочностных и деформационных свойств бетонов и фибробетонов с параметрами продавливания железобетонных плит / В.Л. Хвастунов, Ю.П. Скачков, А.В. Хвастунов // Региональная архитектура и строительства. – 2015. №1(22). – С. 93–100.
16. Береговой, В.А. Цифровые технологии в исследовании механических свойств тонкослойных материалов / В.А. Береговой, С.А. Болдырев, И.Ю. Лавров // Региональная архитектура и строительства. – 2020. – №4(45). – С. 5–11.

References

1. Lyudkovsky, I.G. Frame-type supporting structures for equipment / I.G. Lyudkovsky, M.I. Brailovsky, L.R. Spivak // Concrete and reinforced concrete. – 1981. – No. 11. – P. 25–26.
2. Belogurov, P.M. The problem of replacing metal with reinforced concrete in mechanical engineering / P.M. Belogurov, V.A. Shumaev // Concrete and reinforced concrete. – 1987. – No. 8. – P. 4–5.
3. Brailovsky, M.I. Efficient reinforced concrete bedplates / M.I. Brailovsky, L.R. Spivak, A.V. Borisov, I.B. Glezin, G.V. Gladyshev // Concrete and reinforced concrete. – 1987. – No. 11. – P. 29–31.
4. Brailovsky, M.I. About the quality of reinforced concrete structures for mechanical engineering / M.I. Brailovsky, V.I. Sharstuk // Concrete and reinforced concrete. – 1990. – No. 1. – P. 22–23.
5. Fedonin, O.N. Design-technological questions of manufacturing reinforced concrete bedplates for compact machines with CNC (computer numerical control) / O.N. Fedonin, A.V. Khondozhko, A.N. Shcherbakov, L.A. Zakharov // Mechanical engineering and technosphere of the XXI century: Proceedings of the XXIII International Scientific and Technical Conference (Sevastopol, September 12-18, 2016). – Donetsk: MSM, 2016. – Vol. 2. – P. 137–140.
6. Brailovsky, M.I. Recommendations for the design of basic parts of machine tool equipment and supporting structures for units of aggregated equipment made of reinforced concrete and special concrete.
7. Trigalev, V.N. Reinforced concrete bedplates of metal-cutting machines: tutorial book / V.N. Trigalev, V.O. Chebotarevich, S.M. Skorobogatov. – M.: GNTI «Mashgaz», 1960. – 96 p.
8. Kalashnikov, V.I. Nonmetallic construction materials industry and the future of concrete / V.I. Kalashnikov // Construction materials. – 2008. – No. 3. – P. 20–22.
9. Kalashnikov, V.I. Highly efficient and highly economical concretes of a new generation / V.I. Kalashnikov, V.L. Khvastunov, Yu.S. Kuznetsov // Materials of the I (First) regional scientific and practical conference «Fundamental research in the Penza region: State and prospects». – Penza, 2010. – P. 45–55.
10. Kalashnikov, V.I. Physico-mechanical and hygrometric properties of powder-activated high-strength crushed stone and fiber-reinforced concrete with low specific consumption of cement per unit of strength / V.I. Kalashnikov, A.V. Khvastunov, V.L. Khvastunov // Scientific and technical bulletin of the Volga region. – Kazan: 2011. – No. 5. – P. 161–164.
11. Troyanov, I.Yu. Concrete mix: patent for invention №2435746 from 01.12.2009 / Troyanov I.Yu., Kalashnikov V.I., Khvastunov V.L., Moroz M.N., Kalashnikov D.V.; publ.: 10.12.2011. Bul. No. 34.
12. Troyanov, I.Yu. Concrete mix: patent for invention №2439020 dated 01.12.2009 / Troyanov I.Yu., Kalashnikov V.I., Khvastunov V.L., Moroz M.N., Kalashnikov D.V.; publ.: 10.01.2012. Bul. No. 1.
13. Khvastunov, V.L. Strength and deformation characteristics of high-strength concrete and fiber-reinforced concrete with low specific consumption of cement per unit of strength / V.L. Khvastunov, A.V. Khvastunov, V.V. Pausk // Regional architecture and engineering. – 2014. – No. 4. – P. 15–23.
14. Kalashnikov, V.I. Parameters of water absorption and porosity of powder-activated high-strength concrete with low specific consumption of cement per unit of strength / V.I. Kalashnikov, V.L. Khvastunov, A.V. Khvastunov, V.V. Pausk // Regional architecture and engineering. – 2014. – No. 4. – P. 45–51.
15. Khvastunov, V.L. The relationship between the strength and deformation properties of concrete and fiber-reinforced concrete with the parameters of punching reinforced concrete plates / V.L. Khvastunov, Yu.P. Skachkov, A.V. Khvastunov // Regional architecture and engineering. – 2015. – No. 1(22). – P. 93–100.
16. Beregovoy, V.A. Digital technologies in the research of the mechanical properties of thin-layer materials / V.A. Beregovoy, S.A. Boldyrev, I.Yu. Lavrov // Regional architecture and engineering. – 2020. – No. 4(45). – P. 5–11.

СТАНДАРТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ

STANDARDIZATION AND QUALITY MANAGEMENT

УДК 658.5:005

*Пензенский государственный университет
архитектуры и строительства*

Россия, 440028, г. Пенза,
ул. Германа Титова, д.28,
тел.: (8412) 48-27-37; факс: (8421) 48-74-77

Баукова Наталья Сергеевна,
магистрант

E-mail: rabota-penza89@mail.ru

Максимова Ирина Николаевна,
кандидат технических наук, доцент кафедры
«Управление качеством и технология
строительного производства»

E-mail: maksimovain@mail.ru

*Penza State University of Architecture
and Construction*

Russia, 440028, Penza, 28, German Titov St.,
tel.: (8412) 48-27-37; fax: (8412) 48-74-77

Baukova Natalya Sergeevna,
Undergraduate

E-mail: rabota-penza89@mail.ru

Maksimova Irina Nikolaevna,
Candidate of Sciences, Associate Professor of the
department «Management of quality and
technology of construction production»

E-mail: maksimovain@mail.ru

АКТУАЛЬНОСТЬ ПРОВЕДЕНИЯ FMEA-АНАЛИЗА ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ, РАЗРАБАТЫВАЮЩЕЙ И ВЫПУСКАЮЩЕЙ ТЕПЛООБМЕННОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ

Н.С. Баукова, И.Н. Максимова

Рассмотрены актуальность и пример практического применения FMEA-анализа в организации, разрабатывающей и выпускающей теплообменное оборудование для нефтегазовой отрасли. Определены задачи, решаемые в процессе проведения FMEA-анализа, построено дерево причин отказов теплообменного оборудования. Приведены рекомендации рабочей группы по результатам проведения FMEA-анализа.

Ключевые слова: FMEA-анализ, дерево причин отказов, теплообменное оборудование

RELEVANCE OF FMEA ANALYSIS CONDUCTING FOR AN ORGANIZATION DEVELOPING AND PRODUCING HEAT EXCHANGE EQUIPMENT FOR OIL AND GAS INDUSTRY

N.S. Baukova, I.N. Maksimova

The relevance and example of practical application of FMEA analysis in an organization that develops and manufactures heat exchange equipment for the oil and gas industry are considered. The tasks to be solved in the process of carrying out FMEA-analysis have been determined, a tree of reasons for the failure of heat exchange equipment has been built. The recommendations of the working group on the results of FMEA-analysis are given.

Keywords: FMEA-analysis, failure cause tree, heat exchange equipment

В настоящее время со стороны руководства организаций, выпускающих оборудование для нефтегазовой отрасли, уделяется значительное внимание проблеме повышения качества крупногабаритного оборудования (в т.ч. и теплообменного) [1, 2]. Подтверждением серьезности проблемы служат:

- высокий уровень дефектности сварных соединений, таких, как трещины, непровары, поры, несплавления, шлаковые включения, а также наружные дефекты (наплывы, подрезы, отклонения размера сварного шва от требований конструкторской документации и пр.). По статистическим данным, более 65 % отказов металлоконструкций оборудования происходит в результате разрушения сварных соединений;

- рост числа рекламаций на поставленную заказчику продукцию по сравнению с предыдущим отчетным периодом.

В совокупности эти факторы могут привести к значительному удорожанию стоимости оборудования. Так, например, доля затрат на устранение дефектов сварных соединений в процессе изготовления и испытаний составляет 40–60 % от общих затрат на производство продукции в рассматриваемой организации. Следует отметить, что исправление дефектов оборудования не всегда обеспечивает требуемое качество и, более того, может приводить к появлению новых, иногда даже более опасных дефектов. Возникает проблема управления качеством в системе менеджмента качества организации. Для ее решения необходимо применение современных методов менеджмента качества, одним из которых и является анализ видов и последствий потенциальных несоответствий (FMEA).

По оценке журнала «Quality Progress» (American Society for Quality Control, США, Scopus), в настоящее время не менее 80 % разработок технических изделий и технологий их производства проводится с применением анализа видов и последствий потенциальных несоответствий (FMEA-методологии) [3].

FMEA-анализ – это систематизированная совокупность мероприятий повышения качества разрабатываемых технических объектов, направленная на предотвращение дефектов или снижение негативных последствий от них, и документирование всех этих мероприятий [4].

Область применения метода охватывает все этапы жизненного цикла продукции и любые технологические или бизнес-процессы. Наибольший эффект дает применение FMEA-анализа на этапах разработки конструкции изделия и технологических процессов. Приоритет отдается FMEA-анализу, связанному с особо ответственными операциями технологического процесса, нарушения которых могут привести к потере или изменению функциональных свойств оборудования, и специальными характеристиками продукции, которые влияют на ее безопасность (соответствие техническим регламентам).

Проведение FMEA-анализа предусматривают для следующих технических объектов:

- являющихся объектами обязательной или добровольной сертификации;
- для сложных и новых видов оборудования, у которых возможны отказы, представляющие угрозу безопасности людей, опасного загрязнения окружающей среды, значительного экономического или иного ущерба.

В процессе проведения FMEA-анализа решают следующие задачи:

- выявляют возможные виды отказов составных частей и изделия в целом, изучают их причины, механизмы и условия возникновения и развития, учитывая при этом тяжесть последствий отказов;

- определяют возможные неблагоприятные последствия возникновения выявленных отказов;

- оценивают достаточность предусмотренных средств и методов контроля работоспособности и диагностирования изделий для своевременного обнаружения и локализации его отказов, обосновывают необходимость введения дополнительных средств и методов контроля;

- составляют и периодически корректируют перечни критичных элементов и технологических процессов;

– выработывают предложения и рекомендации по внесению изменений в конструкцию и (или) технологию изготовления изделия и его составных частей, направленные на снижение вероятности и (или) тяжести последствий отказов, оценивают эффективность ранее проведенных доработок, а также общие рекомендации, направленные на совершенствование бизнес-процессов организации.

Опыт преуспевающих компаний мира показывает, что успешно решить проблемы разработки и постановки продукции на производство можно только силами группы разнородных специалистов – межфункциональной FMEA-команды, которая работает по специальной методике [5].

Для проведения FMEA-анализа в организации издается приказ о его проведении, назначается рабочая группа, в состав которой входят ведущие специалисты бюро главного конструктора, технологического бюро и, в случае необходимости, специалисты группы управления качеством, группы по сварке, а также других подразделений, указывается время и место работы рабочей группы.

Уровень разукрупнения объекта, начиная с которого (до которого) проводят FMEA-анализ на определенном этапе его разработки, устанавливают, исходя из:

- результатов анализа;
- степени отработанности конструкторской, технологической и эксплуатационной документации подобного типа оборудования;
- наличия необходимых входных данных;
- степени новизны изделия и его составных частей, технологий их изготовления, условий эксплуатации.

Для каждого вида отказов выбранного элемента на рассматриваемом и последующих уровнях разукрупнения объекта строят дерево причин отказов (ДПО), выделяют в столбце «описание вершин дерева причин отказа» критические нарушения функции, последствия или ущерб от которых превосходят пределы, установленные планом анализа.

С помощью построенного «дерева» выделяют одиночные элементы, приводящие к критическому нарушению функций изделия или части изделия, и сочетания элементов, совместные отказы которых ведут к указанному нарушению.

Построение ДПО заключается в следующем:

- в качестве «вершинного события» принимают анализируемый отказ. Вершина ДПО формирует нулевой уровень;
- определяют события (процессы), являющиеся признаками появления отказа. Вершины, отображающие данные события (процессы), формируют первый уровень ДПО. Вершины признаков проявления отказа связывают с причиной отказа. Причины нулевого уровня связывают с вершинами первого уровня;
- вершинами второго уровня выступают результаты процессов деградации, т.е. несоответствия, возникающие в процессе изготовления. Причины первого уровня связывают с вершинами второго уровня;
- вершинами третьего уровня являются причины процессов деградации, т.е. несоответствия, возникающие в процессе технологической подготовки производства и применении материалов. Причины второго уровня связывают с вершинами третьего уровня;
- вершинами четвертого уровня являются вероятные ошибки в рабочей конструкторской документации (РКД).

Причины четвертого уровня связывают с вершинами третьего уровня, а при необходимости – второго, первого или вершинного события.

Дерево причин отказа, описание вершин ДПО, а также пример заполнения листа проведения FMEA-анализа в организации, разрабатывающей и выпускающей теплообменное оборудование для нефтегазовой отрасли, приведены в таблице.

Лист FMEA-анализа

Наименование конструкции элемента: <i>Змеевик трубчатой печи (код)</i>		Лист FMEA-анализа №1 от 14.02.2020 г.
Номер слоя дерев а	Дерево причин отказа	Описание вершин дерева причин отказа
0	Потеря герметичности змеевика	Выход нефтепродукта во внешнюю среду
1		1.1 Течь в трубе змеевика 1.2 Течь в сварном соединении змеевика 1.3 Течь во фланцевом соединении змеевика
2		2.1 Трещинообразование в трубе 2.2 Разрушение сварного соединения вследствие местных перегревов из-за отложения примесей нефтепродукта 2.3 Разрушение сварного соединения вследствие внутренних напряжений 2.4 Коррозия сварного соединения 2.5 Разуплотнение фланцевого соединения
3		3.1 Несоответствие материала трубы 3.2 Дефекты сварки 3.3 Отсутствие термообработки 3.4 Несоответствие материала крепежа 3.5 Несоответствие типа или/и материала фланцевого соединения 3.6 Несоответствие типа прокладки 3.7 Малая толщина сварного шва 3.8 Несоответствие шероховатости уплотнительной поверхности под прокладку
4		4.1 Ошибки в выборе НД (ТУ) на трубу или/и в выборе видов испытаний 4.2 Отсутствие требований к геометрии сварного соединения 4.3 Отсутствие требований к термообработке 4.4 Ошибка в расчете на прочность 4.5 Ошибка в выборе типа или/и материала фланцевого соединения 4.6 Ошибка в выборе типа или/и материала прокладки 4.7 Отсутствие необходимой полноты контроля сварного шва 4.8 Ошибка в назначении допуска на минимальную толщину шва 4.9 Ошибка в выборе материала крепежа 4.10 Ошибка в указании шероховатости поверхности под прокладку

На основе анализа данных таблицы видно, что в первую очередь необходимо обратить внимание на дефекты и ошибки, которые возникают на этапе проектирования и разработки рабочей конструкторской документации (РКД) на теплообменное оборудование, а именно:

- ошибки в выборе нормативной документации (технических условий) на трубу или/и в выборе видов испытаний;
- отсутствие требований к геометрии сварного соединения;
- отсутствие требований к термообработке;
- ошибка в расчете на прочность;
- ошибка в выборе типа или/и материала фланцевого соединения;
- ошибка в выборе типа или/и материала прокладки;
- отсутствие необходимой полноты контроля сварного шва;
- ошибка в назначении допуска на минимальную толщину шва;
- ошибка в выборе материала крепежа;
- ошибка в указании шероховатости поверхности под прокладку.

По итогам проведения FMEA-анализа и обобщения результатов его проведения рабочей группой были предложены следующие рекомендации:

- проводить обучение специалистов бюро главного конструктора с периодичностью, установленной в нормативном документе организации;
- разработать систему материального стимулирования специалистов бюро главного конструктора с учетом процента сдачи конструкторской документации на нормоконтроль с первого предъявления;
- правильно организовать процесс «Проектирование и разработка рабочей конструкторской документации» в соответствии с требованиями ГОСТ Р ИСО 9001;
- отделу продаж запрашивать у заказчика всю необходимую информацию (входные данные на проектируемое оборудование) в полном объеме.

Вывод:

Таким образом, FMEA-анализ послужил комплексным и наглядным руководством по повышению качества разрабатываемого и изготавливаемого теплообменного оборудования для нефтегазовой отрасли посредством предотвращения дефектов и снижения негативных последствий.

FMEA-анализ прост в применении, способствует развитию командных форм работы, помогает техническим специалистам выявить наиболее важные параметры, влияющие на качество и надежность оборудования, позволяет выявить его возможные отказы и потенциальные риски.

Применение FMEA-анализа в рассматриваемой организации нефтегазовой (нефтехимической) отрасли позволит предотвратить несоответствия, возникающие в процессе разработки и изготовления оборудования, или максимально минимизировать их негативные последствия, снизить уровень дефектности сварных соединений, количество рекламаций, сэкономить временные и материальные ресурсы, связанные с рекламационной работой, следовательно, повысить качество выпускаемого оборудования, повысить удовлетворенность заинтересованных сторон и улучшить репутацию поставщика оборудования, а также сократить затраты на устранение несоответствий на следующих этапах жизненного цикла продукции и, в конечном счете, избежать аварий при эксплуатации оборудования с серьезными последствиями, тем самым исключив материальный и экологический ущерб.

Рациональность проведения анализа с использованием данного метода подтверждается и с точки зрения экономики. Раннее распознавание потенциальных ошибок и просчетов избавляет от дорогостоящего исправления дефектов [5, 6].

Список литературы

1. Баукова, Н.С. Методика оценки степени соответствия деятельности подразделений предприятия требованиям документированных процедур системы менеджмента

качества / Н.С. Баукова, И.Н. Максимова // Вестник ПГУАС: строительство, наука и образование. – 2020. – № 1 (10). – С. 9–13.

2. Баукова, Н.С. Разработка структурной схемы процесса «Управление средствами измерения» для предприятий нефтехимической и нефтегазовой отраслей промышленности / Н.С. Баукова, И.Н. Максимова // Вестник ПГУАС: строительство, наука и образование. – 2020. – № 2 (11). – С. 86–92.

3. Селезнева, А.В. Особенности применения метода FMEA в образовании / А.В. Селезнева // Вестник ПНИПУ. – 2015. – Т.17, № 1. – С. 73–78.

4. ГОСТ Р 51814.2-2001. Системы качества в автомобилестроении. Метод анализа видов и последствий потенциальных дефектов. – М., 2001.

5. FMEA: Справочное руководство. Крайслер корпорэйшн, Форд Мотор компани, Дженерал Моторс корпорэйшн: пер. с англ. – Н. Новгород: АО «НИЦ КД», СМЦ «Приоритет», 2007.

6. Еремцова, С.В. Актуальность проведения FMEA-анализа на ОАО «ПО КЗК» / С.В. Еремцова, Е.А. Жирнова // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. Технические науки. – 2011. – С. 275–276.

References

1. Baukova, N.S. Methodology for assessing the degree of compliance of the activities of the enterprise units with the requirements of the documented procedures of the quality management system / N.S. Baukova, I.N. Maksimova // Bulletin of PGUAS: construction, science and education. – 2020. – No.1 (10). – P. 9–13.

2. Baukova, N.S. Development of a structural diagram of the process «Management of measuring instruments» for enterprises of the petrochemical and oil and gas industries / N.S. Baukova, I.N. Maksimova // Bulletin of PGUAS: construction, science and education. – 2020. – No.2 (11). – P. 86–92.

3. Selezneva, A.V. Features of the application of the FMEA method in education / A.V. Selezneva // PNRPU Bulletin. – 2015. – Vol. 17, No. 1. – P. 73–78.

4. GOST R 51814.2-2001. Quality systems in the automotive industry. Method of analysis of types and consequences of potential defects. – M., 2001.

5. FMEA: Reference Guide. Chrysler Corporation, Ford Motor Company, General Motors Corporation: trans. from English. – N. Novgorod: JSC «NIC KD», SMC «Priority», 2007.

6. Eremtsova, S.V. Relevance of FMEA-analysis at OJSC «PO KZK» / S.V. Eremtsova, E.A. Zhirnova // Actual problems of aviation and cosmonautics. Technical science. – 2011. – P. 275–276.

Пензенский государственный университет
архитектуры и строительства

Россия, 440028, г. Пенза,
ул. Германа Титова, д.28,
тел.: (8412) 48-27-37; факс: (8421) 48-74-77

Гарькин Игорь Николаевич,
доцент кафедры «Управление качеством
и технология строительства»
E-mail: igor_garkin@mail.ru

Сазыкина Ольга Анатольевна,
кандидат экономических наук, доцент
кафедры «Менеджмент»
E-mail: soa02041978@bk.ru

*Penza State University of Architecture
and Construction*

Russia, 440028, Penza, 28, German Titov St.,
tel.: (8412) 48-27-37; fax: (8412) 48-74-77

Garkin Igor Nikolaevich,
Associate Professor of the department «Quality
management and technology of building
production»
E-mail: igor_garkin@mail.ru

Sazykina Olga Anatolyevna,
Candidate of Economic Sciences, Associate
Professor of the department «Management»
E-mail: soa02041978@bk.ru

МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ ПРОЕКТНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

И.Н. Гарькин, О.А. Сазыкина

Приведены результаты исследования влияния факторов внешней и внутренней среды на деятельность проектной организации. Предложены пути повышения конкурентоспособности проектной организации на основе разработки альтернативных стратегий ее развития. Приведенные методы и рекомендации можно использовать для аналогичных проектных организаций для обеспечения их устойчивого развития.

Ключевые слова: повышение конкурентоспособности, стратегия, развитие, проектная организация, проектирование, изыскания, техническая экспертиза, объекты культурного наследия

METHODS OF INCREASING THE COMPETITIVENESS OF A DESIGN ORGANIZATION IN CONSTRUCTION

I.N. Garkin, O.A. Sazykina

The results of the study of the influence of factors of the external and internal environment on the activities of the design organization are presented. The ways of increasing the competitiveness of a design organization based on the development of alternative strategies for its development are proposed. The above methods and recommendations can be used for similar design organizations to ensure their sustainable development.

Keywords: increasing competitiveness, development strategy, design organization, design, research, technical expertise, cultural heritage objects

Увеличение числа предприятий на рынке проектно-изыскательских услуг требует от них постоянно повышать свою конкурентоспособность. Грамотно сделать это можно лишь на основе выработки верной стратегии развития предприятия с помощью анализа факторов внешней и внутренней среды.

В настоящее время существует множество методов стратегического анализа внешней и внутренней среды. Значительный вклад в их обобщение внес Г. Минцберг [1], который в своей книге представил всестороннее исследование основных положений, сильных и слабых сторон концепций таких ученых, как И. Ансофф, М.Портер, А. Чандлер и др.

Наиболее известными и часто применяемыми методами стратегического анализа являются PEST-анализ и SWOT-анализ [2], результаты которых позволяют предлагать обоснованные стратегические решения [3].

Рассмотрим на примере проектной организации ООО «Современные строительные решения» (ООО «ССР», г.Пенза) возможные стратегии развития. Стратегия – это интегрированная концепция развития организации для обеспечения долгосрочного выживания путем активного взаимодействия с конкурентами с учетом их возможностей и исходящих от них угроз.

ООО «ССР» является субъектом малого предпринимательства (СМП), основные направления деятельности которого:

- разработка проектно-сметной документации на новое строительство, реконструкцию, капитальный и текущий ремонт;
- разработка научно-проектной документации для объектов культурного наследия;
- проведение технических экспертиз и разработка проектов усиления строительных конструкций;
- разработка проектной документации для помещений, где используются ионизирующие источники излучения;
- осуществление строительного контроля и авторского надзора;
- выполнение консалтинговых услуг в сфере строительства и проектирования.

Проанализировав представленные организацией данные, можно выделить сильные стороны ООО «Современные строительные решения»:

- квалифицированные кадры (большинство работников имеют высшее образование и ученые степени);
- имидж организации (организация узнаваема на региональном рынке);
- репутация компании (большое количество положительных отзывов об организации);
- приверженность клиентов (благодаря положительной репутации организации);
- грамотная кадровая политика (вполне устраивает сотрудников и является привлекательной для потенциальных работников, о чем свидетельствуют низкие показатели текучести кадров).

Слабыми сторонами ООО «Современные строительные решения» являются:

- уровень мотивации сотрудников (невозможность в условиях кризиса обеспечить постоянный уровень зарплат выше среднего по региону);
- уменьшение количества выполняемых работ (снизились темпы проведения строительного-монтажных работ особенно в коммерческом секторе, что негативно сказалось на заказах в области проектирования).

Влияние внутренней среды на деятельность ООО «Современные строительные решения» проанализировано с использованием «цепочки ценности» М. Портера [4]. От основной деятельности организации (разработка концепции проекта строительства, разработка проектно-сметной документации, строительный контроль, консалтинговые услуги, работы по разработке документации на объектах культурного наследия) напрямую зависит результат ее деятельности. Каждый из этих видов деятельности может способствовать сокращению затрат. Анализируя эти виды деятельности, можно определить, что ООО «ССР» является конкурентоспособной и даже одной из лидирующих организаций на рынке проектирования Пензенской области (в области капитального ремонта). Для достижения конкурентного преимущества необходимо рассматривать «цепочку ценностей» как систему. Следует учитывать влияние производственной, маркетинговой, финансовой, и кадрово-организационной составляющих внутренней среды организации, которые существенно упали в своих показателях из-за экономического кризиса. Но, несмотря на это, организация старается вернуть положительную динамику этим составляющим, чтобы сохранить лидирующую позицию на рынке своей отрасли.

Следует отметить, что важнейшей составляющей внутренней среды проектной организации является ее кадровая составляющая, т.к. стратегия кадрового менеджмента должна полностью соответствовать выбранной стратегии. Для обеспечения такого соответствия необходимо оценивать кадровый потенциал организаций, проводить аттестацию [5], разрабатывать план качества работ [6] и др.

В соответствии с миссией организации руководство ООО «Современные строительные решения» ставит перед собой следующие стратегические цели:

- определение ключевых потребителей и их потребностей;
- разработка концепции проектирования, интересной для ключевых потребителей, ценностных предложений;
- разработка рекламной концепции и механизма продвижения продукта на рынке;
- установление взаимоотношений, в т.ч. обратной связи с потребителями;
- контроль за соблюдением плана продаж (особенно в секторе b2g).

Проанализируем влияние факторов внешней среды на деятельность проектной организации ООО «Современные строительные решения».

Влияние политических факторов. На деятельности предприятия определено сказываются события, происходящие в политической среде. Внезапные изменения в законодательстве и налоговой политике могут привести к изменению условий хозяйствования, повышению ресурсных затрат, потере прибыли. Для успешного функционирования организации необходима стабильность, особенно в сфере законодательства в области градостроительной деятельности.

Влияние экономических факторов. Уровень и темпы инфляции, система налогообложения и кредитования, спрос и предложение на рынке, платежеспособность заказчиков, уровень и динамика цен, безработица значительно влияют на деятельность организации.

Влияние технологических факторов. Конструкторско-технологические разработки, новинки в области САПР, обновление материально-технической базы благоприятно влияют на деятельность организации. Следовательно, растет производительность труда, повышается эффективность работы.

Влияние социальных факторов. Существенное влияние оказывают требования населения (особенно в сельской местности) о необходимости обновления социальной инфраструктуры, т.е. строительство/ремонт детских садов, школ, больниц, домов культуры и других объектов.

Интенсивность конкуренции среди существующих предприятий. В отрасли строительства конкуренция жесткая, так как:

- растет число фирм-конкурентов при постепенном выравнивании их размеров и потенциала;
- замедляется рост спроса на данный товар;
- конкурирующие проектные организации вынуждены снижать цены с тем, чтобы увеличивать объемы выполняемых работ и др.

В табл. 1 и 2 представлены выявленные в результате анализа факторов внешней среды проектной организации возможности (благоприятные факторы) и угрозы (неблагоприятные факторы) внешней среды.

Т а б л и ц а 1

Матрица возможностей ООО «Современные строительные решения»

Вероятность использования	<i>Влияние возможностей на организацию</i>			
		<i>Сильное влияние</i>	<i>Умеренное влияние</i>	<i>Малое влияние</i>
<i>Высокая вероятность</i>	Увеличение планов проектирования	Обновление материально-технологической базы	Поддержание и развитие имиджа	
<i>Средняя вероятность</i>	Увеличение линейки предоставляемых услуг	Конструкторско-технологические разработки		
<i>Низкая вероятность</i>	Расширение географии выполнения работ	Изменение рекламных технологий		

Матрица угроз ООО «Современные строительные решения»

Вероятность реализации угроз	Влияние угроз на организацию				
		Разрушение	Критическое состояние	Тяжелое состояние	«Легкие ушибы»
	Высокая вероятность	Снижение покупательской способности	Растущий темп инфляции	Изменения в законодательстве	Рост числа фирм-конкурентов
	Средняя вероятность	Падение спроса	Изменения в системе налогообложения	Уменьшение числа программ государственной поддержки	Скачки курсов валют
Низкая вероятность	Рост безработицы		Увеличение преимуществ у конкурентов		

Для обеспечения финансовой стабильности и устойчивого развития проектной организации предлагается повышать ее конкурентоспособность для нивелирования возможных внешних угроз за счет реализации следующих мероприятий:

- проведение диверсификации и расширение линейки услуг: получение лицензии МЧС (для выполнения монтажа средств пожарной защиты), аттестация лаборатории разрушающего/неразрушающего контроля (проведение лабораторного контроля), аккредитация негосударственной экспертизы (возможность проводить негосударственную экспертизу проектной документации);

- внедрение нового и постоянное обновление существующего программного обеспечения; постепенный переход на технологии BIM-проектирования и Revit;

- постоянное повышение квалификации сотрудников и руководящего состава предприятия: курсы, вебинары, семинары, специализированная литература, участие в профильных выставках и конференциях [7];

- участие в государственных программах поддержки малого бизнеса, в частности с помощью услуг сервиса «Мой бизнес», участие в бесплатных бизнес-миссиях в другие регионы, бесплатное обучение и др.

Использование вышеизложенных инструментов поможет проектной организации преодолеть выявленные внешние и внутренние угрозы и повысить её конкурентоспособность на рынке проектных услуг.

Список литературы

1. Минцберг, Г. Стратегическое сафари: Экскурсия по дебрям стратегического менеджмента: пер. с англ. / Г. Минцберг, Б. Альстранд, Ж. Лампель. – М.: Альпина Паблишер, 2013. – 367 с.

2. Сазыкина, О.А. Современный стратегический анализ / О.А. Сазыкина. – Пенза: ПГУАС, 2016. – 136 с.

3. Сазыкина, О.А. Влияние факторов внешней среды на стратегические направления развития строительной организации / О.А. Сазыкина, М.В. Мезинова // Журнал экономических исследований. – 2019. – Т. 5, № 2. – С. 31–37.

4. Портер, М. Конкурентная стратегия: Методика анализа отраслей и конкурентов: пер. с англ. / М. Портер. – 4-е изд. – М.: Альпина Паблишер, 2011. – 453 с.

5. Михайлова, А.В. Аттестация как инструмент управления стратегией развития организации (на примере проектной организации) / А.В. Михайлова // Управление экономическими системами: электронный научный журнал. – 2014. – № 1 (61). – С. 12.

6. Самит, И.Р. Разработка плана качества проектной организации / И.Р. Самит, Е.В. Трошкова // Синергия Наук. – 2018. – № 19. – С. 39–47.

7. Гарькин, И.Н. Подготовка главного инженера проекта в строительстве на основе составления психолого-профессионального портрета / И.Н. Гарькин // Вестник Сургутского государственного педагогического университета. – 2020. – № 1 (64). – С. 22–27.

References

1. Mintzberg, G. Strategic Safari: An Excursion to the Wilds of Strategic Management: trans. from English / G. Mintzberg, B. Alstrand, J. Lampel. – M.: Alpina Publisher, 2013. – 367 p.
2. Sazykina, O.A. Modern strategic analysis / O.A. Sazykina. – Penza: PGUAS, 2016. – 136 p.
3. Sazykina, O.A. The influence of environmental factors on the strategic directions of development of a construction organization / O.A. Sazykina, M.V. Mezinova // Journal of Economic Research. – 2019. – Vol. 5, № 2. – P. 31–37.
4. Porter, M. Competitive strategy: Methods for analyzing industries and competitors: trans. from English / M. Porter. – 4th ed. – M.: Alpina Publisher, 2011. – 453 p.
5. Mikhailova, A.V. Certification as a tool for managing the development strategy of an organization (on the example of a design organization) / A.V. Mikhailova // Management of economic systems: electronic scientific journal. – 2014. – № 1 (61). – P. 12.
6. Samit, I.R. Development of a quality plan for a design organization / I.R. Samit, E.V. Troshkova // Synergy of Science. – 2018. – No. 19. – P. 39–47.
7. Garkin, I.N. Training of a chief engineer of a project in construction based on the compilation of a psychological and professional portrait / I.N. Garkin // Bulletin of the Surgut State Pedagogical University. – 2020. – No. 1 (64). – P. 22–27.

Пензенский государственный университет
архитектуры и строительства

Россия, 440028, г. Пенза,
ул. Германа Титова, д.28,
тел.: (8412) 48-27-37; факс: (8421) 48-74-77

Логанина Валентина Ивановна,
доктор технических наук, профессор,
зав. кафедрой «Управление качеством
и технология строительного производства»
E-mail: loganin@mai.ru

Учаева Татьяна Владимировна,
кандидат экономических наук, доцент
кафедры «Экономика, организация
и управление производством»
E-mail: uchaevatv@mail.ru

*Penza State University of Architecture
and Construction*

Russia, 440028, Penza, 28, German Titov St.,
tel.: (8412) 48-27-37; fax: (8412) 48-74-77

Loganina Valentina Ivanovna,
Doctor of Sciences, Professor,
Head of the department «Quality Management
and Construction Technologies»
E-mail: loganin@mai.ru

Uchaeva Tatiana Vladimirovna,
Candidate of Economic Sciences, Associate
Professor of the Department «Economics,
Organization and Management of the Enterprise»
E-mail: uchaevatv@mail.ru

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РИСКИ ПРОИЗВОДСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ, ИЗДЕЛИЙ И КОНСТРУКЦИЙ

В.И. Логанина, Т.В. Учаева

Приведены сведения о технологических рисках, связанных с производством строительных материалов, изделий и конструкций. Представлена карта рисков, методы идентификации и причины появления риска. Приведен пример оценки риска в зависимости от качества сырья.

Ключевые слова: менеджмента риска, производства строительных материалов, карта рисков, стабильности и воспроизводимости процесса производства

TECHNOLOGICAL RISKS OF BUILDING MATERIALS PRODUCTION, PRODUCTS AND STRUCTURES

V.I. Loganina, T.V. Uchaeva

The information on technological risks associated with the production of building materials, products and structures is provided. A risk map, identification methods and causes of risk occurrence are presented. An example of risk assessment depending on the quality of raw materials is given.

Keywords: risk management, production of building materials, risk map, stability and reproducibility of the production process

Одним из основных направлений, развивающихся в последнее время, является технологию менеджмента риска, позволяющая решить целый ряд задач, связанных с выбором наиболее экономически выгодного варианта, минимизацией последствий чрезвычайных ситуаций [1–4].

Риск присущ каждому проекту, каждому процессу и каждому решению на всех стадиях жизни проекта. Задачей управления рисками является контроль, предотвращение неблагоприятных событий, поэтому риск должен быть управляем на каждой стадии проектирования, а процесс менеджмента риска должен быть интегрирован как в процесс менеджмента проекта, так и в процессы, связанные с производством продукции [5, 6].

Рассмотрим технологические риски, связанные с производством строительных материалов, изделий и конструкций. Карта рисков состояния производственного процесса приведена в табл. 1–4.

Т а б л и ц а 1

Карта рисков производства строительных материалов

Описание риска	Вероятность возникновения риска			Степень опасности		
	Малая (<20 %)	Вероятно (20-60 %)	Вполне вероятно (60-100 %)	Не опасен (1-2)	Допустимый	Опасен
Риск нестабильности производственного процесса		+			+	
Риск невоспроизводимости производственного процесса		+			+	
Риск нестабильности невоспроизводимости производственного процесса			+			+

Т а б л и ц а 2

Методы идентификации риска

Описание риска	Методы идентификации риска
Риск нестабильности производственного процесса	Построение контрольных карт Шухарта
Риск невоспроизводимости производственного процесса	Расчет индекса воспроизводимости процесса
Риск нестабильности невоспроизводимости производственного процесса	Построение контрольных карт Шухарта, расчет индекса воспроизводимости процесса

Т а б л и ц а 3

Причины появления риска

Описание риска	Мероприятия по снижению риска	Причины появления риска	Результат снижения риска
Риск нестабильности производственного процесса	Обучение персонала лаборатории методам построения контрольных карт Шухарта, расчета индексов воспроизводимости производственного процесса. Наличие на рабочем месте методических рекомендаций по методам построения контрольных карт Шухарта, расчета индексов воспроизводимости производственного процесса. Вмешательство в производственный процесс ИТР цеха или руководство предприятия в зависимости от состояния производственного процесса. Создание кружков качества на предприятии и обучения ИТК, руководства и рабочих статистическим методам управления качеством	Изношенность оборудования, некондиция сырья и материалов, отсутствие резервной мощности, низкая квалификации рабочих, нарушение трудовой дисциплины	Снижение вероятности появления дефектной продукции
Риск невоспроизводимости производственного процесса			
Риск нестабильности невоспроизводимости производственного процесса			

Оценка риска

Наименование риска	Последствия риска	Оценка, баллы
Риск поставки сырья несоответствующего качества	Качество сырья является важным показателем для производства конечной продукции. Риск достаточно важен	4
Риск нарушения технологии производства	Нарушение режима технологического процесса приводит к снижению качества конечного продукта. Риск достаточно важен	5
Риск производства некачественной продукции	Один из самых важных рисков. Приводит к снижению репутации предприятия	4
Риск низкой компетенции работающих	Приводит к снижению качества конечной продукции	3

Показатели качества сырья, даже если они находятся в пределах поля допуска в соответствии с действующей нормативной документацией, оказывают значительное влияние на показатели качества будущей продукции и состояние технологического процесса ее производства (см. рисунок).



Риски при производстве строительных материалов и изделий в зависимости от качества сырья

Ниже представлены результаты оценки риска в зависимости от состояния технологического процесса (стабильности и воспроизводимости) производства бетонных изделий в зависимости от вида поставщиков цемента на примере ОАО «Строительные материалы» (г. Пенза) [7–9]. Для исключения влияния изношенности оборудования и квалификации персонала были взяты статистические данные за незначительный промежуток времени. В качестве поставщиков цемента взяты ОАО «Новотроицкий цементный завод», ОАО «Мордовцемент», ЗАО «Ульяновскцемент», ЗАО «Жигулевские стройматериалы». Стабильность технологического процесса оценивалась по контрольным картам Шухарта, воспроизводимость процесса – по показателям индекса воспроизводимости C_p и C_{pk} .

Влияние выбора поставщика цемента на уровень дефектности продукции

Наименование поставщика цемента	Состояние технологического процесса производства бетонных блоков	Индексы воспроизводимости	Риск (уровень дефектности, %)
ОАО «Новотроицкий цементный завод»	Процесс производства стабилен и воспроизводим	1,31	0,0086
ОАО «Мордов-цемент»	Процесс производства стабилен, но не воспроизводим	0,86	0,99
ЗАО «Ульяновск-цемент»	Процесс производства нестабилен, но воспроизводим	1,0	0,27
ЗАО «Жигулевские стройматериалы»	Процесс производства нестабилен и не воспроизводим	0,69	3,8

Результаты исследований (см. табл. 5), свидетельствует о существенном влиянии вида поставщика на значение риска. Наибольший уровень дефектности продукции, равный 3,8 %, отмечается при изготовлении бетона на цементе ЗАО «Жигулевские стройматериалы». Результаты расчета свидетельствуют, что недополученная выручка предприятия за 1250 м³ бетонных блоков, изготовленных за месяц, составляет 47500 руб.

Следует иметь в виду, что реальный уровень дефектности продукции будет значительно выше указанного в табл. 5 значения, т.к. качество продукции определяется не одним значением, а несколькими. Вероятность получения реального уровня качества будет определяться соотношением

$$P = (1 - q_1)(1 - q_2)...(1 - q_n),$$

где n – число показателей, определяющих качество продукции.

Список литературы

- ГОСТ Р 51901.5-2005 (МЭК 60300-3-1:2003) «Менеджмент риска. Руководство по применению методов анализа надежности», модифицированный по отношению к МЭК 60300-3-1:2003. – М., 2005.
- ГОСТ Р 51901.6-2005 (МЭК 61014:2003) «Менеджмент риска. Программа повышения надежности», модифицированный по отношению к МЭК 61014:2003. – М., 2005.
- ГОСТ Р 51901.11-2005 (МЭК 61882:2001) «Менеджмент риска. Исследование опасности и работоспособности. Прикладное руководство», модифицированный по отношению к МЭК 61882:2001. – М., 2005.
- ГОСТ Р 51901.15-2005 (МЭК 61165:1995) «Менеджмент риска. Применение марковских методов», модифицированный по отношению к МЭК 61165:1995. – М., 2005.
- ГОСТ Р 51901.16-2005 (МЭК 61164:1995) «Менеджмент риска. Повышение надежности. Статистические критерии и методы оценки», модифицированный по отношению к МЭК 61164:1995. – М., 2005.
- ГОСТ Р 51901.1-2002 «Менеджмент риска. Анализ риска технологических систем». – М., 2002.
- Логанина, В.И. К вопросу о регулировании технологических процессов производства бетона / В.И. Логанина // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2009. – № 3–4 (603–604). – С. 42–45.
- Логанина, В.И. Организация статистического приемочного контроля качества строительных изделий и конструкций / В.И. Логанина // Строительные материалы. – 2008. – № 8. – С. 98–99.

9. Логанина, В.И. Формирование механизма управления потенциалом конкурентоспособности предприятий промышленности строительных материалов / В.И. Логанина, Б.Б. Хрусталёв, Т.В. Учаева // Технологии бетонов. – 2013. – № 3 (80). – С. 44–46.

References

1. GOST R 51901.5-2005 (IEC 60300-3-1: 2003) «Risk management. Guidelines for the Application of Reliability Analysis Methods», modified in relation to IEC 60300-3-1: 2003. – М., 2005.

2. GOST R 51901.6-2005 (IEC 61014: 2003) «Risk management. Reliability Improvement Program», modified in relation to IEC 61014: 2003. – М., 2005.

3. GOST R 51901.11-2005 (IEC 61882: 2001) «Risk management. Hazard and performance research. Application Guide», modified in relation to IEC 61882: 2001. – М., 2005.

4. GOST R 51901.15-2005 (IEC 61165: 1995) «Risk management. Application of Markov Methods», modified in relation to IEC 61165: 1995. – М., 2005.

5. GOST R 51901.16-2005 (IEC 61164: 1995) «Risk management. Increased reliability. Statistical Criteria and Evaluation Methods», modified with respect to IEC 61164: 1995. – М., 2005.

6. GOST R 51901.1-2002 «Risk management. Risk analysis of technological systems». – М., 2002.

7. Loganina, V.I. On the issue of regulation of technological processes of concrete production / V.I. Loganina // Izvestiya of Higher Education institutions. Construction. – 2009. – No. 3–4 (603–604). – P. 42–45.

8. Loganina V.I. Organization of statistical acceptance control of the quality of construction products and structures / V.I. Loganina // Building materials. – 2008. – No. 8. – P. 98–99.

9. Loganina, V.I. Formation of a mechanism for managing the potential of competitiveness of enterprises in the building materials industry / V.I. Loganina, B.B. Khrustalev, T.V. Uchaeva // Concrete technologies. – 2013. – No. 3 (80). – P. 44–46.

Пензенский государственный университет
архитектуры и строительства

Россия, 440028, г. Пенза,
ул. Германа Титова, д.28,
тел.: (8412) 48-27-37; факс: (8421) 48-74-77

Макарова Людмила Викторовна,
кандидат технических наук, доцент кафедры
«Управление качеством
и технология строительного производства»
E-mail: Mak.78_08@inbox.ru

Баукова Наталья Сергеевна,
магистрант
E-mail: rabota-penza89@mail.ru

Penza State University of Architecture
and Construction

Russia, 440028, Penza, 28, German Titov St.,
tel.: (8412) 48-27-37; fax: (8412) 48-74-77

Makarova Ludmila Viktorovna,
Candidate of Sciences, Associate Professor of the
department «Management of Quality and
Technology of Construction Production»
E-mail: Mak.78_08@inbox.ru

Baukova Natalya Sergeevna,
Undergraduate
E-mail: rabota-penza89@mail.ru

УПРАВЛЕНИЕ РИСКАМИ В ПРОЦЕССЕ «КОНСТРУКТОРСКАЯ ПОДГОТОВКА ПРОИЗВОДСТВА ИЗДЕЛИЯ»

Л.В. Макарова, Н.С. Баукова

Эффективное управление производственной деятельностью основано на управлении качеством продукции на всех этапах ее жизненного цикла. Ориентированность на создание высококачественной продукции требует организации работы, направленной на снижение вероятности выпуска несоответствующей продукции. Решение этой задачи возможно за счет управления рисками. В статье, на примере конкретной организации, разрабатывающей и выпускающей оборудование для нефтегазодобывающей, нефтегазо-перерабатывающей, химической, металлургической отраслей промышленности, представлены алгоритм и пример идентификации, оценки и анализа рисков, возникающих в процессе «Конструкторская подготовка производства изделия»

Ключевые слова: риск, управление рисками, система менеджмента качества, идентификация рисков

RISK MANAGEMENT IN THE PROCESS OF «DESIGN PREPARATION OF PRODUCTS PRODUCTION»

L.V. Makarova, N.S. Baukova

Effective management of production activities is based on the management of product quality at all stages of its life cycle. Focusing on the creation of high-quality products requires the organization of work aimed at reducing the likelihood of producing non-conforming products. The solution to this problem is possible through risk management. In the article on the example of a particular organization, which develops and produces equipment for oil and gas production and refinery, chemical, metallurgical industries an algorithm and an example of identification, assessment and analysis of risks arising in the process of «Design preparation of products production» is presented.

Keywords: risk, risk management, quality management system, risk identification.

Производственная деятельность в условиях усилившейся конкурентной борьбы требует от предприятий четкой стратегии развития с учетом ориентации на создание условий выпуска высококачественной продукции. Решение данной задачи возможно за счет создания и внедрения на предприятиях систем управления качеством. Управление процессами, в свою очередь, требует широкого применения методов снижения возможных рисков появления дефектной продукции.

Определение понятия «риск» в современной литературе не является установившимся и однозначным. В известных словарях и стандартах термин «риск» раскрывается следующим образом: «...возможность опасности, неудачи; действие наудачу в

надежде на счастливый исход» (Словарь русского языка С.И. Ожегова, 1960); «возможность наступления события с отрицательными последствиями в результате определенных действий или решений» (Большой экономический словарь, 1998); «...возможная опасность; действие наудачу в надежде на счастливый исход дела; возможный убыток или неудача в каком-либо деле» (Новый толково-словообразовательный словарь русского языка Т.Ф. Ефремовой, 2000); «вероятность возникновения чего-то, что будет иметь влияние на цели» (Стандарт AZ/NZS 4360:2004 «Риск-менеджмент»); «влияние неопределенности на результат какой-либо деятельности в виде негативного отклонения от ожидаемого результата» (ISO 9000:2015).

Риск присутствует в деятельности организаций любой формы собственности и отраслевой принадлежности. Рисками необходимо управлять с целью выявления потенциальных неблагоприятных событий, которые могут повлиять на результаты деятельности организации, а также на ее стратегическое развитие [1,2].

Управление рисками представляет собой последовательное выполнение следующих действий: выявление рисков, идентификация и описание, анализ, оценка, разработка мероприятий, направленных на их устранение (минимизацию), мониторинг рисков [3]. Также управление рисками требует четкого распределения ответственности и полномочий, необходимых для принятия управленческих решений. Руководители всех процессов системы менеджмента качества, а также высшее руководство организации несут ответственность за своевременное выявление рисков, их идентификацию, оценку, разработку мероприятий по управлению рисками и информирование всех заинтересованных сторон, в том числе работников организации [4].

Продукция, выпускаемая организациями нефтегазодобывающей, нефтегазоперерабатывающей, химической, металлургической отраслей промышленности, должна строго соответствовать определенным требованиям, отраженным в договорах и в различной нормативно-правовой документации (ТР; ТС; ГОСТ; ТУ и др.). Однако при ее производстве могут возникать риски как систематические – не поддающиеся влиянию воздействием со стороны управления объектом (политические, природные, экологические, социальные, экономические и пр.), так и несистематические – риски, которые можно устранить частично или полностью в результате воздействия со стороны управления объектом (маркетинговые, технологические, производственные, финансовые и т.д.). В этой ситуации важно уметь управлять рисками с целью прогнозирования появления негативных факторов, отрицательно влияющих на динамику и результаты производственной и финансовой деятельности организации.

С позиций анализа рисков особый интерес представляют ключевые процессы, например процесс «Конструкторская подготовка производства изделия», основной задачей которого является проектирование нового оборудования, удовлетворяющего требованиям заказчика и обеспечивающего возможность его эффективного и безопасного применения потребителем. Требования к техническим, эксплуатационным и другим характеристикам оборудования устанавливаются с учетом существующих требований, предусмотренных в законодательных и иных правовых нормативных актах, в том числе в нормативных документах. Уровень технических, эксплуатационных и других характеристик производимого оборудования должен обеспечивать его конкурентоспособность и экономическую эффективность в течение всего жизненного цикла. Результаты конструкторской подготовки производства изделия оформляются в виде технической документации – чертежей, спецификаций, ведомостей материалов, деталей и узлов и т.п. В рабочую конструкторскую документацию (РКД) входят также паспорт изделия и технические условия на выпускаемое оборудование.

Рассмотрим возможные риски, возникающие в процессе «Конструкторская подготовка производства изделия», на примере компании ОАО «Пензхиммаш» (табл. 1).

Одним из видов представления рисков является карта выявленных рисков (табл. 2).

Рассмотрим пример идентификации, анализа и оценки рисков процесса «Конструкторская подготовка производства изделия» за IV квартал 2020 г.

В рассматриваемом периоде выявлено пять рисков: № 1, 2, 3, 5, 6.

Перечень возможных рисков
по процессу «Конструкторская подготовка производства изделия»

Номер риска	Описание рискового события
1	Отсутствие технического проекта/опросного листа на заказываемое оборудование на момент открытия заказа/запуска маршрута
2	Неполные данные технического проекта/отсутствие данных, определяющих материально-конструктивное исполнение изделий
3	Изменение входных проектных данных на стадии разработки рабочей конструкторской документации (РКД)
4	Потери ресурсов в связи с отказом заказчика от оборудования на стадии разработки РКД
5	Проработка и оформление актов-разрешений на замену материалов, покупных комплектующих изделий
6	Изменение входных данных на этапе изготовления оборудования
7	Потери времени в связи с согласованием отступлений от РКД при изготовлении оборудования в процессе производства
8	Срыв сроков рассмотрения и согласования разработанной РКД со стороны заказчика/проектанта
9	Снижение работоспособности разработчиков РКД БГК

Карта выявленных рисков

№	Перечень рисковых событий, описание риска	Статистические данные за IV квартал 2020 г.					
		Общее количество позиций выполненных работ (заказ, договор, единицы оборудования и др.), шт., N	Количество позиций, по которым имели место рисковые события, шт., R	Вероятность наступления рискового события, %, $V=(R/N) \cdot 100\%$	Ущерб от наступления рискового события (потери времени), У, дни	Ущерб от наступления рискового события, %	Значимость риска (А, В или С)
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Отсутствие технического проекта/опросного листа на заказываемое оборудование на момент открытия заказа/запуска маршрута	11	1	9,1	180	52,3	А
2	Неполные данные технического проекта/отсутствие данных, определяющих материально-конструктивное исполнение изделий	11	2	18,2	66	62,9	А

1	2	3	4	5	6	7	8
3	Изменение входных проектных данных на стадии разработки рабочей конструкторской документации (РКД)	11	3	27,3	180	27,7	В
5	Проработка и оформление актов-разрешений на замену материалов, комплектующих изделий	73	50	68,5	64	45,7	А
6	Изменение входных данных на стадии изготовления оборудования	11	3	27,3	66	62,9	А

Оценивание ущерба от потери времени Y_v в процентах (графа 7) осуществляется по формуле

$$Y_v = \frac{Y, \text{дни}}{\Phi_{\text{рвр}}, \text{дни, чел./дн}} \cdot 100 \%,$$

где $\Phi_{\text{рвр}}$ – фонд рабочего времени на выполнение работ (договорных обязательств), дни, чел./дн,

$$\Phi_{\text{рвр}} = N_{\text{чел}} \cdot N_{\text{дн}};$$

здесь $N_{\text{чел}}$ – количество человек; $N_{\text{дн}}$ – количество дней.

Числовые значения ущерба от наступления рисковог о события (%) рассчитывались следующим образом:

для риска № 1: $Y=(180/(43 \cdot 8)) \cdot 100 \% = 52,3 \%$;

для риска № 2: $Y=(66/(7 \cdot 15)) \cdot 100 \% = 62,9 \%$;

для риска № 3: $Y=(180/(65 \cdot 10)) \cdot 100 \% = 27,7 \%$;

для риска № 5: $Y=(64/(20 \cdot 7)) \cdot 100 \% = 45,7 \%$;

для риска № 6: $Y=(66/(7 \cdot 15)) \cdot 100 \% = 62,9 \%$.

Анализ выявленных рисков (см. табл. 2) показывает, что из общего перечня возможных рисков по процессу «Конструкторская подготовка производства изделия» в IV кв. 2020 г. имели место риски: №1, №2, №5, №6, которые в соответствии с табл. 3 отнесены к группе А, т.е. к значительным рискам, и риск: №3, который в соответствии с табл. 3 отнесен к группе В, т.е. к умеренным рискам, по которым необходимы меры по их снижению.

Т а б л и ц а 3

Таблица ранжирования рисков

Вероятность возникновения риска	Влияние риска (ущерб от наступления рисковог о события, %)		
	Незначительное (до 10 %)	Умеренное (от 10 до 45 %)	Значительное (более 45 %)
Низкая (до 10 %)	С	В	А
Средняя (от 10 до 45 %)	В	В	А
Высокая (более 45 %)	В	А	А

Рекомендуются следующие меры: по риску № 5 целесообразно перенести ответственность за снижение рисков на начальника ПРБ ООО «Пензенский завод крупногабаритного оборудования»; по рискам № 1, 2, 3, 6 – на начальника отдела продаж/руководителей проектов ООО «Пензенский завод крупногабаритного оборудования».

Таким образом, данные риски передаются другой стороне (компании) с целью уменьшения их негативного влияния.

На основании полученной информации проведем анализ и оценку остаточных рисков (табл. 4).

Т а б л и ц а 4

Карта остаточных рисков

№	Перечень рисков событий, описание риска	Статистические данные за IV квартал 2020 г.					
		Общее количество позиций выполненных работ (заказ, договор, единицы оборудования и др.), шт., N	Количество позиций, по которым имели место рисковые события, шт., R	Вероятность наступления рискового события, %, $V=(R/N) \cdot 100\%$	Ущерб от наступления рискового события (потери времени), $У$, дни	Ущерб от наступления рискового события, %	Значимость риска (А, В или С)
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Отсутствие технического проекта/опросного листа на заказываемое оборудование на момент открытия заказа/запуска маршрута	11	1	9,1	55	16,0	В
2	Неполные данные технического проекта/отсутствие данных, определяющих материально-конструктивное исполнение изделий	11	1	9,1	32	65,3	А
3	Изменение входных проектных данных на стадии разработки рабочей конструкторской документации (РКД)	11	2	18,2	110	16,9	В
5	Проработка и оформление актов-разрешений на замену материалов, комплектующих изделий	73	23	31,5	64	45,7	А
6	Изменение входных данных на стадии изготовления оборудования	11	1	9,1	60	57,1	А

Результаты анализа и оценки остаточных рисков показали, что риск № 1 приобрел статус умеренного, вместе с тем, несмотря на принятые в течение отчетного квартала меры, три риска (№ 2, 5, 6) остались значимыми, а риск № 3 по-прежнему умеренным.

В связи с этим необходимо уделить особое внимание всем выявленным в отчетном квартале рискам, т.к. не удалось снизить ущерб от их наступления; соответственно, потери ресурсов продолжают оставаться значимыми и умеренными, что создает напряженность в работе БГК и может привести к срыву сроков поставки оборудования заказчику, что, в свою очередь, может привести к штрафным санкциям.

Отчет о мониторинге рисков, выявленных по «Процессу конструкторской подготовки производства изделия» за IV квартал 2020 г. представлен в табл. 5.

Отчет о мониторинге рисков

Индекс риска	Рисковое событие, описание риска	Значимость выявленного риска (А, В или С)	Мероприятие по риску	Ответственный за реализацию мероприятия	Значимость остаточного риска А, В или С
1	Отсутствие технического проекта/опросного листа на заказываемое оборудование на момент открытия заказа/запуска маршрута	А	Со стороны БГК принимаются меры по минимизации рисков, ведется переписка с проектной организацией, незамедлительно вносятся изменения в РКД, и откорректированная РКД повторно направляется на согласование в проектную организацию, а затем в ООО «Пензенский завод крупногабаритного оборудования»	Руководители проектов	В
2	Неполные данные технического проекта/отсутствие данных, определяющих материально-конструктивное исполнение изделий	А		Руководители проектов	А
3	Изменение входных проектных данных на стадии разработки рабочей конструкторской документации (РКД)	В		Руководители проектов	В
6	Изменение входных данных на стадии изготовления оборудования	А		Руководители проектов	А
5	Проработка и оформление актов-разрешений на замену материалов, комплектующих изделий	А	Закупка материалов и покупных комплекующих изделий в соответствии с предварительной заявкой на материалы	Начальник ПРБ	А

Данный алгоритм идентификации, анализа и оценки рисков можно использовать для любого процесса СМК и применять организациям любых форм собственности и отраслей промышленности, что позволит им минимизировать затраты на устранение несоответствий продукции/процессов и в конечном счете повысить свою конкурентоспособность.

Список литературы

1. Балдин, К.В. Риск-менеджмент / К.В. Балдин. – М.: Эксмо, 2006. – 368 с.
2. Гришина, Т.Г. Риск как неопределенность в принятии решений / Т.Г. Гришина, А.Н. Феофанов // Экономика и управление в машиностроении. – 2013. – № 6. – С. 24–27.
3. Камышев, А. Принципы и концепция реализации системы менеджмента рисков / А. Камышев // Методы менеджмента качества. – 2017. – № 7. – С. 24–31.

4. Скрипко, Л.Е. Проблемы реализации требований стандарта ISO 9001: Возможности преодоления / Л.Е. Скрипко // Методы менеджмента качества. – 2019. – № 10. – С. 16–22.

References

1. Baldin, K.V. Risk management / K.V. Baldin. – М.: Eksmo, 2006. –368 p.
2. Grishina, T.G. Risk as uncertainty in decision making / T.G. Grishina, A.N. Feofanov // Economics and Management in Mechanical Engineering. – 2013. – No. 6. – P. 24–27.
3. Kamyshev, A. Principles and concept of the implementation of the risk management system / A. Kamyshev // Methods of quality management. – 2017. – No. 7. – P. 24–31.
4. Skripko, L.Ye. Problems of implementation of the requirements of ISO 9001: Possibilities of overcoming / L.Ye. Skripko // Quality management methods. – 2019. – No. 10. – P. 16–22.

Пензенский государственный университет
архитектуры и строительства

Россия, 440028, г. Пенза,
ул. Германа Титова, д.28,
тел.: (8412) 48-27-37; факс: (8421) 48-74-77

Тарасов Роман Викторович,
кандидат технических наук, доцент кафедры
«Управление качеством
и технология строительного производства»
E-mail: rwtarasow@rambler.ru

Прохоркина Анна Вячеславовна,
магистрант

*Penza State University of Architecture
and Construction*

Russia, 440028, Penza, 28, German Titov St.,
tel.: (8412) 48-27-37; fax: (8412) 48-74-77

Tarasov Roman Viktorovich,
Candidate of Sciences, Associate Professor of the
department «Management of Quality and
Technology of Construction Production»
E-mail: rwtarasow@rambler.ru

Prokhorkina Anna Viacheslavovna,
Undergraduate

АКТУАЛИЗАЦИЯ КОНЦЕПЦИИ БЕРЕЖЛИВОГО ПРОИЗВОДСТВА МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Р.В. Тарасов, А.В. Прохоркина

Концепция бережливого производства является наиболее эффективным способом управления ключевыми процессами организации, который позволяет повысить конкурентоспособность предприятия благодаря выпуску продукции, полностью удовлетворяющей всем требованиям заказчика, в максимально короткий срок и с наименьшими затратами. В статье приводится анализ действующей системы бережливого производства ООО НПП «Технопроект» с разработкой предложений по ее актуализации.

Ключевые слова: конкурентоспособность, концепция бережливого производства, организация, предприятие, система, критерии оценки, показатели

UPDATING LEAN PRODUCTION CONCEPT AT MACHINE-BUILDING ENTERPRISES

R.V. Tarasov, A.V. Prokhorkina

The concept of lean manufacturing is the most effective way to manage the key processes of the organization, which allows you to increase the competitiveness of the enterprise by producing products that fully meet all customer requirements in the shortest possible time and at the lowest cost. The article provides an analysis of the current lean production system of LLC NPP «Technoproekt» with the development of proposals for its updating.

Keywords: competitiveness, the concept of lean production, organization, enterprise, improvement of lean production, tools, assessment system and criteria, key indicators

В настоящий момент во всем мире устойчивое положение и развитие любого предприятия на рынке товаров и услуг зависят от уровня конкурентоспособности.

Оценить конкурентное превосходство одного предприятия над другим можно в случае, когда оба предприятия удовлетворяют одинаковые запросы потребителей, относящиеся к схожим сегментам рынка [1]. При этом компании находятся приблизительно в одних и тех же фазах жизненного цикла.

Аналізу необходимо подвергать разнообразные факторы, начиная от характеристик качества изготавливаемой продукции и заканчивая ценовой политикой и качеством используемых рекламных технологий. Эффективным инструментом оценки конкурентоспособности компаний является многоугольник конкурентоспособности, который дает возможность сравнить и визуально представить широкий спектр ключевых свойств.

Проведем сравнительный анализ конкурентного положения ООО НПП «Технопроект» по сравнению с основными конкурентами. Научно-производственное предприятие «Технопроект» было основано на базе Пензенского конструкторского технологического бюро арматуростроения (ПКТБА). «Технопроект» представляет собой научно-производственный комплекс, который работает по схеме «исследования – разработка – поставка – гарантийное и постгарантийное обслуживание». Это позволяет производить как серийную продукцию, так и специализированные изделия, проектируемые по индивидуальному заказу.

В табл. 1 представлены ключевые критерии, по которым проведена оценка конкурирующих предприятий. Определение конкурентоспособности предприятия по выявленным критериям осуществлялось по десятибалльной шкале (1 балл – самая низкая оценка, а 10 баллов – самая высокая).

Т а б л и ц а 1

Критерии и оценки конкурентоспособности предприятий

Критерии конкурентоспособности	Баллы			
	ООО НПП «Технопроект»	АО «Руст-95»	АО «БАЗ»	ASCO
Ассортимент	10	10	9	10
Цена	10	9	9	10
Внешний вид	9	9	8	9
Качество	9	10	10	10
Безопасность при производстве изделия	8	9	9	10
Наличие рекламаций/претензий	8	7	7	8
Уровень рекламной активности	9	6	7	9
Уникальность предложения	10	9	9	10
Индивидуальный подход к каждому заказу	10	9	8	10
Сроки доставки готового изделия	7	8	9	8
Уровень знания бренда целевыми аудиториями	8	8	7	8
Назначенный срок службы товара	10	9	10	10
Послепродажное обслуживание	10	10	10	9
Эффективность сбыта	9	9	7	10
Итого	127	122	119	131

Результаты проведённого анализа представлены на рис. 1.

Анализ полученных результатов подтверждает тот факт, что ООО НПП «Технопроект» имеет достаточно устойчивое положение на рынке. Однако по некоторым критериям (качество, безопасность при производстве изделия и сроки доставки готового изделия) ООО НПП «Технопроект» уступает предприятиям-конкурентам.

Для получения дополнительных конкурентных преимуществ рекомендуется усовершенствовать действующую систему «Бережливое производство».

Система бережливого производства представляет собой концепцию управления, максимально ориентированную на рынок, с привлечением в этот процесс всех сотрудников фирмы. Идея бережливого производства предлагает стабильное повышение качества выпускаемых товаров и производственных операций при постоянном сокращении издержек [2].

На рис. 2 представлена концептуальная модель бережливого производства для промышленного предприятия.



Рис. 1. Многоугольник конкурентоспособности

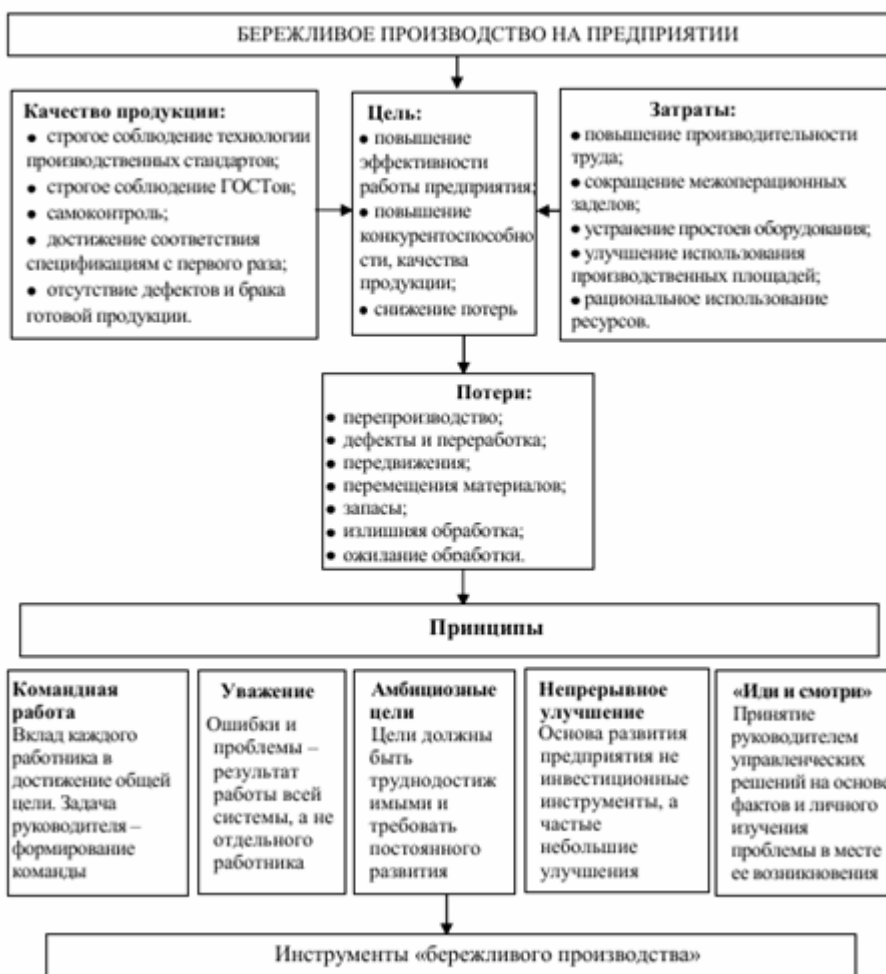


Рис. 2. Модель бережливого производства

Эффективность действующей на предприятии ООО НПП «Технопроект» системы бережливого производства невысока. В связи с этим необходимо запустить процесс ее актуализации. Данная задача требует предварительного анализа эффективности действующей системы [3, 4]. Для этого предлагается использовать коэффициент общей эффективности, который рассчитывается как среднее арифметическое значение коэффициентов достижения цели по каждому показателю КРІ (ключевые показатели эффективности) в процентах.

Для оценки была сформирована экспертная группа, включающая 10 экспертов. В процессе экспертного опроса для каждого показателя деятельности организации были рассчитаны весовые коэффициенты: безопасность – 0,21; качество – 0,22; сроки – 0,20; затраты – 0,19; культура – 0,18. В табл. 2 представлена сводная таблица оценки значимости возможных изменений по каждому критерию для предприятия.

Т а б л и ц а 2

Оценки значимости возможных изменений

Эксперты	Безопасность	Качество	Сроки	Затраты	Культура
Эксперт 1	10	10	10	10	10
Эксперт 2	10	10	9	7	8
Эксперт 3	9	9	10	10	7
Эксперт 4	8	10	9	8	7
Эксперт 5	9	10	9	7	6
Эксперт 6	10	10	10	10	10
Эксперт 7	8	9	10	7	7
Эксперт 8	9	10	10	7	7
Эксперт 9	9	10	10	8	7
Эксперт 10	8	8	9	7	8
Эксперт 11	10	9	9	9	7
Сумма оценок	100	105	95	90	84

Установлено, что максимальную значимость для организации представляют изменения, связанные с качеством выпускаемой продукции, на втором месте находится безопасность, на третьем – сроки. Двое из опрошенных экспертов считают, что важность изменения каждого показателя равна.

Таким образом, оценку результативности системы можно представить в виде суммы произведений коэффициентов выполнения каждого критерия и весовых коэффициентов по направлениям, стремящейся к 1:

$$K_{рез} = 0,21K_1 + 0,22K_2 + 0,20K_3 + 0,19K_4 + 0,18K_5 \rightarrow 1,$$

где $K_{рез}$ – коэффициент результативности проекта, K_i – коэффициент достижения цели по каждому показателю.

В качестве критериев оценки результата по каждому показателю примем следующие:

$K = 1$, если $\Pi_1 \leq \Pi_2$, – значение результата достигает целевого значения или перевыполнено;

$K = \Pi_2/\Pi_1$ (в случае повышения показателя) и Π_1/Π_2 (в случае снижения показателя), если $\Pi_0 \leq \Pi_2 < \Pi_1$, – показатель в результате остается неизменным или не достигает целевого значения.

Знаки «<» и «>» показывают динамику положительного или отрицательного изменения относительно каждого показателя.

В табл. 3 приведен коэффициент общей эффективности системы бережливого производства, реализуемой в организации ООО НПП «Технопроект».

При получении коэффициента общей эффективности, который не достигает 100 %, необходимо провести анализ причин по тем показателям, динамика которых негативно сказывается на достижении поставленных целей. При этом предлагается следующая последовательность действий:

1. Поиск причин возникновения проблем (несоответствий).

2. Разработка комплекса мероприятий, направленных на сокращение и ликвидацию факторов негативной динамики и пересмотр целей.

3. Выход на цикл SDCA.

Т а б л и ц а 3

Результаты эффективности функционирования актуализированной системы бережливого производства за 6 месяцев

Показатели КРІ	До улучшений (П ₀)	Цели (П ₁)	Результаты (П ₂)	Весовой коэффициент	Коэффициент достижения цели (К)
Безопасность	3	0	0	0,21	1
Количество старых токарных станков, шт.					
Качество	60	84	71	0,22	0,85
Уровень сдачи детали без дефектов, %					
Сроки	55	63	70	0,20	1
Показатель доставки готового изделия точно в срок, %					
Затраты	6679	5050	5900	0,19	0,80
Остаток НЗП на начало месяца, тыс. руб					
Культура	На производстве не внедрена система 5S	Достичь уровня 3S на производстве	Достигнут уровень 3S на производстве	0,18	1
Соблюдение системы 5S на участке					
Коэффициент общей эффективности, %					93 %

Предлагаемая система комплексной оценки позволяет:

– полноценно оценивать эффективность работы системы «Бережливое производство»;

– проводить анализ воздействий изменений на ключевые показатели эффективности деятельности предприятия (безопасность, качество, сроки, затраты, культура) и разрабатывать план последующих действий по корректировке данных показателей;

– устанавливать наиболее результативные пути решения проблем, способствующие достижению цели сразу по нескольким показателям.

Для комплексного решения задачи повышения эффективности работы системы бережливого производства была проведена оценка тесноты и характера связи между каждым из пяти ключевых критериев (безопасность, качество, сроки, затраты, культура) на ООО НПП «Технопроект». За оцениваемую шкалу взята динамика изменения каждого показателя за шесть месяцев. Расчет коэффициентов корреляции между пятью рассматриваемыми критериями представлен в табл. 4.

Т а б л и ц а 4

Динамика изменения показателей

Показатели	Безопасность	Качество	Затраты	Сроки	Культура
Безопасность	1	-0,84	-0,62	0,75	-0,90
Качество	-0,84	1	0,61	-0,61	0,85
Затраты	-0,62	0,61	1	0,82	0,90
Сроки	0,75	-0,61	0,82	1	0,87
Культура	-0,90	0,85	0,90	0,87	1

Таким образом, повышение производственной культуры, а именно приведение ее к уровню 3S по системе 5S, имеет положительную прямую зависимость с показателем «Сроки» и с показателем «Качество». Также установлено, что снижение риска возникновения травмоопасных ситуаций на производстве ведет к снижению суммы затрат. Расчет матрицы парных коэффициентов корреляции свидетельствует о том, что первоочередными задачами организации являются обеспечение безопасных условий труда, обучение и разработка системы мотивации работников. Решение этих задач позволит достичь основных целей предприятия, направленных на полное удовлетворение запросов потребителей и сокращение затрат.

Список литературы

1. Пострелова, А.В. Оценка конкурентоспособности предприятия / А.В. Пострелова, М.С. Маркин // Молодой ученый. – 2013. – № 6 (53). – С. 398–402.
2. Как работает Lean в России и других странах (с цифрами). – URL: http://www.uppro.ru/library/production_management/lean/lean-russia-usa.html.
3. Бельш, К.В. Комплексный подход к внедрению и оценке результативности внедрения бережливого производства на промышленном предприятии / К.В. Бельш // Вопросы инновационной экономики. – 2018. – Т. 8, №3. – С.513–530.
4. Бельш, К.В. Методика оценки эффективности проекта по улучшению деятельности предприятия с применением инструментов бережливого производства / К.В. Бельш // 3-я Международная лин-конференция «Резервы повышения эффективности деятельности в бережливых организациях: отраслевые особенности»: сб. ст. – Ижевск, 2017. – С. 131–138.

References

1. Postrelova, A.V. Assessment of the competitiveness of an enterprise / A.V. Postrelova, M.S. Markin // Young scientist. – 2013. – No. 6 (53). – P. 398–402.
2. How lean works in Russia and other countries (with numbers). – URL: http://www.uppro.ru/library/production_management/lean/lean-russia-usa.html.
3. Belysh, K.V. An integrated approach to the implementation and assessment of the effectiveness of the implementation of lean production at an industrial enterprise / K.V. Belysh // Issues of innovative economics. – 2018. – Vol. 8, No.3. – P.513–530.
4. Belysh, K.V. Methodology for assessing the effectiveness of a project to improve the performance of an enterprise using lean production tools / K.V. Belysh // 3rd International Lean Conference «Reserves for increasing the efficiency of activities in lean organizations: industry features»: Collection of articles. – Izhevsk, 2017. – P. 131–138.

ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

PEDAGOGICAL SCIENCES

УДК 81'37'25

*Пензенский государственный университет
архитектуры и строительства*

Россия, 440028, г. Пенза,
ул. Германа Титова, д.28,
тел.: (8412) 48-27-37; факс: (8421) 48-74-77

Солманидина Наталья Викторовна,
кандидат философских наук, доцент
кафедры «Иностранные языки»
E-mail: solomona@mail.ru

Гринцова Ольга Васильевна,
кандидат филологических наук,
зав. кафедрой «Иностранные языки»
E-mail: english@pguas.ru.

*Penza State University of Architecture
and Construction*

Russia, 440028, Penza, 28, German Titov St.,
tel.: (8412) 48-27-37; fax: (8412) 48-74-77

Solmanidina Natalia Viktorovna,
Candidate of Philosophy, Associate Professor of
the department «Foreign Languages»
E-mail: solomona@mail.ru

Grintsova Olga Vasilievna,
Candidate of Philology, Head of the department
«Foreign Languages»
E-mail: english@pguas.ru.

СПОСОБЫ ПЕРЕВОДА БЕЗЭКВИВАЛЕНТНОЙ ЛЕКСИКИ ПРИ ДВУЯЗЫЧНОЙ КОММУНИКАЦИИ

Н.В. Солманидина, О.В. Гринцова

Рассматривается подход, который заключается в осознании заранее обусловленной множественности вариантов единиц безэквивалентной лексики в переводящем языке, что объясняется разностью используемой процедуры как на уровне анализа (формальный, семантический, ситуационный), так и синтеза, т. е. построения переводящего текста. Уподобление – изъяснение – приспособление – три способа действия при передаче безэквивалентных лексических единиц в двуязычной коммуникации.

Ключевые слова: безэквивалентные лексические единицы, двуязычная коммуникация, исходный язык, переводящий язык, множественность вариантов

TRANSLATION OF NON-EQUIVALENT VOCABULARY IN BILINGUAL COMMUNICATION

N.V. Solmanidina, O.V. Grintsova

An approach consisting in the realization of a predetermined multiplicity of variants of units of non-equivalent vocabulary in the translating language, which is explained by the difference in the procedure used both at the level of analysis (formal, semantic, situational) and synthesis, i.e., construction of the translating text is considered. Assimilation – explanation – adaptation – this is how one can figuratively designate three modes of action in the transmission of non-equivalent lexical units in bilingual communication.

Keywords: non-equivalent lexical units, bilingual communication, source language, translating language, multiple options

При изучении и использовании иностранного языка в условиях современной высшей школы студенты описывают на изучаемом языке окружающую их действительность – политическую, экономическую, культурную. Преподавателю приходится

искать иноязычные эквиваленты для обозначения целого ряда понятий. Предложить возможные решения при возникающих при этом трудностях – цель настоящей статьи.

В случае двуязычной коммуникации возникает необходимость в переводчике, к выполнению функций которого должны быть готовы не только преподаватели иностранного языка, но и студенты.

Безэквивалентные лексические единицы – это такие единицы, для которых обычно не находится готовых устойчивых эквивалентов в словаре. Эквиваленты для них создаются в процессе коммуникации.

Проблемой перевода безэквивалентной лексики занимаются многие современные филологи. Так, М.Ф. Арсентьева рассматривает особенности перевода безэквивалентной лексики в текстах экономической тематики [1],

Писарихину А.С. в переводе безэквивалентной лексики интересуют вопросы транслитерации и транскрибирования как способов ее перевода [5], Юдина Г.А. затрагивает вопрос о безэквивалентной лексике и способах ее передачи при переводе на примерах текстов туристического дискурса [7].

Мы же рассмотрим единицы лексики русского языка из общественно-политических текстов и предложим способы снятия некоторых трудностей, возникающих при русско-французской коммуникации, точнее, при построении на французском языке текстов, описывающих современную российскую действительность. Проблема в целом включает следующие аспекты:

- студент видит, что для безэквивалентных лексических единиц существуют разные варианты перевода. Это проблема собственно перевода;
- студент учится выбирать среди множества возможных эквивалентов наиболее подходящие для нужд данного высказывания. Это проблема прагматики перевода;
- сравнивая эквиваленты данной группы лексики на двух языках, студент осознает особенности построения текста соответственно на русском и французском языках. Это проблема сравнительной типологии.

В последнем случае возникает необходимость создания лексического эквивалента. Ниже будут рассмотрены – на основе теории переводческих моделей – принципиально возможные пути создания французских эквивалентов лексических единиц, описывающих явления современной действительности (в большинстве случаев предлагаемые эквиваленты либо отсутствуют вообще в русско-французских словарях, либо представлены в них иначе).

Известно, что рассматриваемый как процесс межъязыковой перевод включает три этапа:

- анализ, т.е. выделение: а) формальных, б) семантических, в) ситуационных составляющих исходного текста, «понимание» его;
- перевод (*transfert*), т.е. переход от выделенных в результате анализа единиц исходного текста к соответствующим единицам переводящего текста;
- синтез, т.е. построение результирующего текста на основе трансферированных единиц.

Установление формального соответствия между лексическими единицами исходного и результирующего текстов приводит при переводе либо к заимствованию, либо к кальке, например *школа с группой продленного дня – école a journée de presence prolongée*. Очевидны как достоинства, так и недостатки такого способа перевода лексических единиц. В чужой язык вводятся не только новые понятия, но и новые для него слова и словосочетания. При этом искусственно расширяется лексический состав переводящего языка. «Новорожденные» лексические единицы ощущаются в нем как «пришельцы». В этом случае либо контекст, либо их форма, либо все вместе взятое выдают их происхождение. Совершенно очевидно, что подобный способ передачи категории лексики не может быть широко рекомендован.

Часто схожесть формы исходной и результирующей лексических единиц способствует их уподоблению: возникает так называемая проблема «ложных друзей переводчика» [4]. Здесь возможны следующие случаи:

- расширение лексического состава переводящего языка «легализируется» его словарями. Так, слово *комбинат* определяется в словаре *Lexis – Larousse de la langue*

francaise так: «*unite industrielle groupant l'ensemble des etablissements dont les activites sont soli-daires*»;

– расширение – продукт деятельности самого переводчика, создающего несуществующую единицу: *детский комбинат* — *combinat d'enfants* (несуществующий во французском языке вариант);

– используемый переводчиком эквивалент существует и в переводящем языке, однако с иным значением: например, вариант *ecole francaise* при использовании в качестве эквивалента для русского понятия «школа с преподаванием ряда предметов на французском языке» сомнителен. Французом это словосочетание интерпретируется скорее как школа, где обучение ведется на французском языке и французами. Более уместным будет эквивалент *ecole a dominante francaise*.

Часто из-за особенностей лексической сочетаемости «ложными друзьями» переводчика оказываются употребительные словосочетания общественно-политической лексики. Так, если слову *база* и может соответствовать французский эквивалент *base*, то словосочетаниям

- (1) *материально-техническая база*;
- (2) *топливно-энергетическая база*;
- (3) *строительная база*;
- (4) *материальная база (партии, организации)*

соответствуют эквиваленты, не использующие слово *base*:

- (1) *structures materielles et techniques*;
- (2) *complexe energetique*;
- (3) *infrastructures des travaux du batiment*;
- (4) *moyens logistiques (d'un parti, d'une organisation)*.

Большой интерес для переводчика представляет семантический анализ. В нем предусматривается выделение составляющих смыслов переводимой лексической единицы, например, в плане идей компонентного анализа. Здесь возможны следующие случаи:

1) Все выделенные семантические составляющие исходной лексической единицы переходят в переводящую лексическую единицу, например:

колхоз – *exploitation collective*;

школа с группой продленного дня – *etude apres la classe pour accueillir les enfants dont les parents travaillent* или *ecole a groupes d'itudes surveillees*;

бригадный подряд – *prise en charge complete des travaux par une equipe unique des soustraitants*;

детский комбинат – *creche-garderie d'enfants*;

вкладыш (диплома) – *carnet resumant la carriere scolaire*.

Очевидно, что полученные варианты наиболее полно передают смысл исходной лексической единицы, однако сами они несколько тяжеловаты и громоздки.

Конечно, при создании таких эквивалентов следует учитывать синтаксические, лексические и другие тенденции переводящего языка.

Так, существительному с прилагательным в русском языке может соответствовать распространенная в наше время конструкция N1+N2:

студенческий строительный отряд – *detachement d'etudiants-batisseurs*;

спортивная школа – *section «sport-etudes»*.

В роли N2 может быть употреблен и англицизм:

головное предприятие – *entreprise leader*.

В современном языке наряду со словом *club* все чаще встречается слово *foyer*. Поэтому для передачи словосочетания *молодежный клуб* можно предложить вариант *un foyer de jeunes*.

2) Известно, что при коммуникации в общем случае необязательно эксплицитно представлять в лексических единицах все семантические составляющие выражаемых ими понятий. Недостающие семантические компоненты «восстанавливаются» по контексту точно так же, как зритель полотен художника-импрессиониста может «дорисовывать» нечетко выписанные элементы портрета или пейзажа. Так, для

передачи единицы *бригадный подряд* достаточно сказать *equipe unique*, а *бытовые корпуса* на предприятиях можно перевести как *douches-vestiaires de l'entreprise*, хотя вполне вероятно, что *бытовые корпуса* могут включать и иные компоненты.

3) Нередко при переводе наблюдается «перегруппировка» смыслов лексических единиц: понятия, имевшие в русском языке отдельное лексическое выражение, могут быть соединены в одной лексеме французского языка:

повышать техническую вооруженность труда – techniser le travail;
воспитывать сознательность у трудящихся – conscientiser les travailleurs.

И наоборот, одному русскому понятию могут соответствовать две или более лексические единицы французского языка:

кроссовки – chaussures, sport-detente.

Отметим, кстати, что нередко во французском эквиваленте эксплицитное (отдельное) выражение получает слово, указывающее на «национальное» происхождение исходной единицы:

матрешка – poupée-gigogne russe; лыжи (беговые) – ski nordique; лыжи (горные) – ski alpin.

Своеобразным знаком безэквивалентности лексической единицы, ее употребления в необычном для носителя переводящего языка значении могут служить кавычки: *красный уголок – «coin rouge»*. Однако неправильно сделанный семантический анализ неминуемо скажется на других этапах перевода и приведет к неверному варианту.

При многозначности исходной лексической единицы переводчик должен выделить актуализированное в данном контексте значение и провести синтез (выбор переводящей лексической единицы) на основе именно этого значения. Так, слово *беспартийный* в текстах, описывающих, например, французскую действительность, может иметь два различных толкования:

1) *не входящий в какую-либо партию;*

2) *не поддерживаемый какой-либо партией на выборах* и, следовательно, на уровне синтеза создаются два различных варианта перевода: 1) *sans parti*; 2) *sans etiquette, non-inscrit*.

Слово *товарищеский* имеет различные значения в словосочетаниях *товарищеский завтрак* и *товарищеский матч*, в результате чего при синтезе в первом случае имеем вариант перевода *déjeuner-prise de contact*, а во втором *match d'entraine-ment*.

Простого знания русского языка недостаточно для перевода на французский язык, например, экономического текста. Трудно установить соответствия между русскими и французскими реалиями в этой и во многих других областях. Следовательно, необходимо понимать особенности организации различных российских предприятий и учреждений, конструкторских бюро и органов снабжения, находить им функциональное соответствие в словаре исходного языка.

Таким образом, третьим способом создания иноязычного эквивалента для понятия, отражающего специфическую действительность исходного текста, является нахождение слова, обозначающего сходное понятие действительности переводящего языка. Здесь наблюдается приспособление системы обозначений, принятой в исходном языке, к системе обозначений переводящего языка.

При таком подходе для перевода рассмотренных выше примеров можно предложить следующие эквиваленты: *колхоз – groupement agricole d'exploitation en commun (GAEC)*; *школа продленного дня – etude (cp. rester en etude) или demi-pension*. Вот еще несколько примеров подобного способа перевода, использующего элементы действительности:

кафедра – unite d'enseignement et de recherche (UER);

курс, читаемый в вузе – unite de valeur (UV);

глава города – maire.

Очевидно, что и у такого способа перевода есть свои достоинства и недостатки. К его позитивным моментам можно отнести то, что он понятен, привычен носителям языка. Они легче соотнесут его с определенным «куском» действительности, чем, например, непривычное заимствование или длинный вариант, использующий

семантическое изъяснение. Однако, как и всегда при сравнении, здесь страдает точность. В самом деле, как не похожи такие объекты действительности, как *колхоз* и *ГАЕС*; *школа продленного дня* и *demi-pension*; *у главы города* и *maire* разные функции.

И наконец, при построении высказывания можно использовать различные средства языкового варьирования, не описываемые в данной работе: а) синонимы, б) узуальные метафоры, в) лексические конверсивы и др.

Например: а) *Дворец культуры* – *Palais (Maison) de la culture*; б) *студент педагогического института* – *normalien – cloutard* (разговорное обозначение студентов Высшей педагогической школы в Сен-Клу); в) *оставлять на второй год* – *proposer (demander) un redou-blement*.

Подводя итог, можно сделать вывод, что в статье рассматривается подход, который заключается в осознании заранее обусловленной множественности вариантов единиц безэквивалентной лексики в переводящем языке, что объясняется разностью используемой процедуры как на уровне анализа (формальный, семантический, ситуационный), так и синтеза, т.е. построения переводящего текста. Уподобление – изъяснение – приспособление – так можно образно обозначить три способа действия при передаче безэквивалентных лексических единиц в двуязычной коммуникации.

Список литературы

1. Арсентьева, М.Ф. Особенности перевода безэквивалентной лексики в текстах экономической тематики / М.Ф. Арсентьева // Медиа- и межкультурная коммуникация в европейском контексте: междунар. науч.-практ. конф.; Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Северо-Кавказский федеральный университет»; Институт социально-экономических и гуманитарных исследований Южного научного центра РАН, 2014. – С. 328-330.

2. Быстрая, Е.Б. Особенности перевода безэквивалентной лексики как составляющей социокультурной компетенции / Е.Б. Быстрая, О.Н. Власенко, Е.Ю. Дорохова, Л.В. Ружина // Вестник Челябинского государственного педагогического университета. – 2018. – № 5. – С. 39–49.

3. Комарова, Л.Н. Безэквивалентная лексика и способы ее перевода / Л.Н. Комарова // Научные исследования: от теории к практике. – 2016. – № 4–1 (10). – С. 141–143.

4. Меркушева, Т.Р. «Ложные друзья» переводчика. Перевод безэквивалентной лексики. Перевод на иностранный язык реалий отечественной культуры / Т.Р. Меркушева, О.В. Байкова // Общество. Наука. Инновации (НПК-2020): сб. ст. XX Всеросс. науч.-практ. конф.: в 2 т. – Киров, 2020. – С. 457–462.

5. Писарихина, А.С. Безэквивалентная лексика. Транслитерация и транскрибирование как способы ее перевода / А.С. Писарихина // Мир лингвистики и коммуникации: электронный научный журнал. – 2012. – № 26. – С. 56–60.

6. Платошина, В.В. Трудности перевода безэквивалентной лексики / В.В. Платошина, П.Ю. Доронина // Лингвистические горизонты: сб. материалов V Международной науч.-практ. конф. – 2017. – С. 87–91.

7. Юдина, Г.А. К вопросу о безэквивалентной лексике и способах ее передачи при переводе (на примерах текстов туристического дискурса) / Г.А. Юдина // Орловский государственный институт культуры как фундаментальный центр сохранения и развития отечественной культуры: материалы междунар. науч.-практ. конф. – 2017. – С. 207–210.

References

1. Arsentieva, M.F. Features of translation of non-equivalent vocabulary in texts of economic topics / M.F. Arsentieva // Media and intercultural communication in the European context: Materials of the International Scientific and Practical Conference; Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Professional Education North Caucasus

Federal University. Institute of Socio-Economic and Humanitarian Research of the Southern Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, 2014. – P. 328–330.

2. Bystrai, E.B. Peculiarities of translation of non-equivalent vocabulary as a component of socio-cultural competence / E.B. Bystrai, O.N. Vlasenko, E.Yu. Dorokhova, L.V. Ruzhina // Bulletin of the Chelyabinsk State Pedagogical University. – 2018. – No.5. – P. 39–49.

3. Komarova, L.N. Non-equivalent vocabulary and methods of its translation / L.N. Komarova // Scientific research: from theory to practice. – 2016. – No.4–1(10). – P. 141–143.

4. Merkusheva, T.R. «False Friends» of a translator. Translation of non-equivalent vocabulary. Translation into a foreign language of the realities of national culture / T.R. Merkusheva, O.V. Baikova // Society. Science. Innovation (NPK-2020): Collection of articles of the XX All-Russian scientific-practical conference: In 2 volumes. – Kirov, 2020. – P. 457–462.

5. Pisarikhina, A.S. Non-equivalent vocabulary. Transliteration and transcription as ways of its translating / A.S. Pisarikhina // The world of linguistics and communication: electronic scientific journal. – 2012. – No.26. – P. 56–60.

6. Platoshina, V.V. Difficulties in translating non-equivalent vocabulary / V.V. Platoshina, P.Yu. Doronina // Linguistic horizons: Collection of materials of the V International scientific and practical conference. – 2017. – P. 87–91.

7. Yudina, G.A. On the issue of non-equivalent vocabulary and methods of its transmission during translation (on the examples of texts of tourist discourse) / G.A. Yudina // Oryol State Institute of Culture as a fundamental center for the preservation and development of national culture: materials of the International scientific and practical conference. – 2017. – P. 207–210.

Пензенский государственный университет
архитектуры и строительства

Россия, 440028, г. Пенза,
ул. Германа Титова, д.28,
тел.: (8412) 48-27-37; факс: (8421) 48-74-77

Солманидина Наталья Викторовна,
кандидат философских наук, доцент
кафедры «Иностранные языки»
E-mail: solomona@mail.ru

Гринцова Ольга Васильевна,
кандидат филологических наук,
зав. кафедрой «Иностранные языки»
E-mail: english@pguas.ru.

*Penza State University of Architecture
and Construction*

Russia, 440028, Penza, 28, German Titov St.,
tel.: (8412) 48-27-37; fax: (8412) 48-74-77

Solmanidina Natalia Viktorovna,
Candidate of Philosophy, Associate Professor of
the department «Foreign Languages»
E-mail: solomona@mail.ru

Grintsova Olga Vasilievna,
Candidate of Philology, Head of the department
«Foreign Languages»
E-mail: english@pguas.ru.

К ВОПРОСУ О ПАРАДОКСАЛЬНЫХ ЯВЛЕНИЯХ В ГРАММАТИКЕ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ИНОСТРАННОГО ЯЗЫКА

Н.В. Солманидина, О.В. Гринцова

Рассматриваются некоторые парадоксальные явления грамматики немецкого языка. Авторы подчеркивают два момента: во-первых, мнимый характер лингвистических парадоксов, их ложную алогичность и иррациональность, за которыми скрывается особая языковая логика, учитывающая тот факт, что звуковых знаменательных сочетаний в языке несравненно меньше, чем представлений и значений. Во-вторых, закономерность существования языковых парадоксов, поскольку все представления и значения должны получить языковое выражение, что неизбежно ведет к полифункциональности языковых единиц и изофункциональности их отдельных значений.

Ключевые слова: грамматика немецкого языка, лингвистические парадоксы, полифункциональность языковых единиц, изофункциональность значений языковых единиц

PARADOXAL PHENOMENA IN GRAMMAR WHEN LEARNING A FOREIGN LANGUAGE

N.V. Solmanidina, O.V. Grintsova

The article examines some of the paradoxical phenomena of the grammar of the German language. The authors emphasize two points: first, the imaginary nature of linguistic paradoxes, their false illogicality and irrationality, behind which there is a special linguistic logic, taking into account the fact that there are incomparably fewer sound significant combinations in a language than representations and meanings, and, second, the regularity of the existence of linguistic paradoxes, since all representations and meanings must receive linguistic expression, which inevitably leads to the polyfunctionality of linguistic units and the isofunctionality of their individual meanings.

Keywords: grammar of the German language, linguistic paradoxes, polyfunctionality of linguistic units, isofunctionality of meanings of linguistic units

В грамматике любого иностранного языка можно встретить явления, по отношению к которым применимо определение «парадоксальный», т.е. необычный, противоречащий общепринятой точке зрения или вообще здравому смыслу.

Существование языковых парадоксов – это закономерность, характерная для языка как такового. В них находит отражение асимметрия между планом выражения и планом содержания в языке. Многие из грамматических парадоксов, о которых пойдет речь в настоящей статье, не являются характерной особенностью какого-то одного языка, а обнаруживаются во многих языках. Таковы, в частности, парадокс грамматического времени, грамматического числа и другие. Представляется, однако, целесооб-

разным обратиться в первую очередь к парадоксальному явлению, которое особенно четко прослеживается в немецком языке.

Речь пойдет об известном парадоксе компаратива, заключающемся в том, что сравнительная степень прилагательных в определенных случаях (а именно при абсолютном употреблении) способна выражать степень признака меньшую, чем исходная степень, что противоречит нашим представлениям о значении сравнительной степени. В качестве иллюстрации данного явления обычно приводятся сочетания с прилагательными *jung* и *alt*. Так, *ein jungerer Mann* старше, чем *ein junger Mann*. Это лишь *сравнительно молодой* человек, т.е. молодым его можно назвать только по отношению к людям старшего поколения (*altere Generation*). И наоборот, *eine altere Frau* не старше, а моложе, чем *eine alte Frau*.

Можно привести и некоторые другие примеры. Так, слово *besser* является более высокой степенью от прилагательного *gut*. В то же время больной, которому сегодня лучше, чувствует себя еще далеко не хорошо. Из примера видно, что русский язык допускает в данном случае аналогичное употребление. Как видно из следующего примера, рассматриваемый парадокс может стать основой шуточного афоризма: *Der Mann in den besten Jahren hat die guten bereits hinter sich* (*Мужчина в расцвете сил уже оставил хорошее позади*).

Как любой парадокс вообще, лингвистический парадокс включает в себе определенное противоречие. Однако, как и в любом парадоксе, впечатление противоречивости, производимое лингвистическим парадоксом, может оказаться неверным. Действительно, если принять во внимание, что при абсолютном употреблении сема «компаративность» у сравнительной степени отсутствует и она не сопоставляется по степени признака с исходной формой, то рассматриваемое явление утрачивает свою кажущуюся парадоксальность. При абсолютном употреблении компаратив входит в другой ряд, в котором значение компаратива определяется его местом между двумя полярными полюсами: *gut – besser – schlechter – schlecht*.

Явление, сходное с только что рассмотренным, можно обнаружить, если присмотреться к множественному числу некоторых существительных. Множественное число в отдельных случаях связано не с усилением, а с ослаблением значения. Сравним единственное и множественное число существительного *Angst – Angste*. Более сильное чувство страха передается, как правило, формой единственного числа. Например, *Lebensangst u tausend Angste*. Значение, передаваемое здесь формой множественного числа, можно сравнить с уменьшительным значением в русском противопоставлении *страсть – страстишки*.

Подобное ослабление значения отмечается и в некоторых других случаях. Например, *Note des Alltags*, но *bittere Not*; *Kleidersorgen*, но *die Sorge um das tagliche Brot*. Возникновению ослабленного значения у формы множественного числа в отдельных случаях способствует контекст. Так, данный оттенок значения может возникнуть при противопоставлении обеих форм числа в одном предложении. Например: *Ihn interessiert nur der Mensch, die Menschen lieft er gewahren* (*W. Goethe*).

Нелогичность, противоречивость отдельных языковых явлений отмечались еще древнегреческими философами Хрисиппом, Кратесом и другими сторонниками языковых аномалий. В языке, утверждали аномалисты, далеко не все стройно и логично, в нем много аномалий – исключений и отклонений от установленных правил и закономерностей. В частности, они указывали на отсутствие логики в образовании форм числа (обозначение единичных предметов формой множественного числа и наоборот), на непоследовательность при распределении слов по родам. В этом отношении немецкий язык превзошел другие языки. Здесь категория рода превратилась в формальный признак согласования не только у неодушевленных, но и у некоторых одушевленных существительных. Имеются в виду такие известные парадоксальные образования, как *das Madchen, das Fraulein, das Weib, das Huhn*, которые противоречат не только здравому смыслу, но и идут вразрез с прослеживающейся тенденцией приводить род существительных в соответствии с биологическим полом обозначаемых ими лиц или живых существ вообще (*der Mann – die Frau, der Vater – die Mutter, der*

Bauer – die Bauerin, der Kater – die Katze, der Hengst – die Stute). Данное противоречие между формой грамматического рода и биологическим полом ощущается носителями языка. Подтверждение тому – встречающиеся в устной речи, в художественной литературе нарушения согласования в роде между существительным и замещающим его местоимением. Подобные нарушения могут привести к конфликтной ситуации – к столкновению в тексте двух местоимений. Так, в следующем примере местоимение женского рода *sie* и местоимение среднего рода *es* поочередно замещают одно и то же существительное:

Das Mädchen hielt das Fahrrad mit einer Hand. Mit der anderen fing es den Apfel auf, den er (der Junge) ihm zuwarf. Kraftvoll bifi es hinein. Er sah ihr von seinem luftigen Sitz zu dabei . Nachher werden wir uns im Dorf irgendwo auf eine Bank setzen und so viele Apfel essen, bis wir nicht mehr können, dachte sie voller Vorfreude (J. Bahre).

Интересно, что принцип соответствия рода существительных полу обозначаемых ими лиц в последнее время оказывается измененными и в других родových языках. Нарушения этого принципа вызваны экстралингвистическими факторами, главным образом исчезновением такого понятия, как «сугубо мужская профессия» и появлением женщин-агрономов, женщин-космонавтов, женщин – государственных деятелей [1] Экстралингвистические факторы оказали влияние и на грамматическую категорию числа, а именно привели к увеличению количества аномалий в рамках данной категории. С развитием науки и техники множественное число получили многие вещественные и абстрактные существительные, значение которых, казалось бы, противоречит их природе неисчисляемых понятий. Так, в современном немецком языке функционируют как полностью правильные формы *Seifen, Fette, Honige, Weinbrände, Quarze, staubfeste Mehle, gute Kaffees, winterfeste Weizen*, а также *Bewufitseinsinhalte, Umwelte, Zukunfte* и др.

Ряд парадоксальных явлений связан с употреблением временных форм глагола в художественной литературе. Парадоксом грамматического времени (*Tempusparadoxie*) называет Г. Вайнрих тот факт, что восприятие времени читателем художественного произведения может не соответствовать значению употребляемых автором временных форм [4]. События, представленные в основной повествовательной форме, претерите, воспринимаются читателем не как прошедшие, а как актуальные. Эта мнимая актуальность возникает благодаря нейтрализации парадигматического значения претерита в тексте художественной прозы и превращению его в художественное настоящее, описывающее «здесь и сейчас» действующих лиц. Объективным показателем актуальности событий, изображаемых в претерите, является появление в тексте, казалось бы, противоречащих здравому смыслу сочетаний претерита с такими обстоятельствами времени, как *jetzt, heute, morgen*.

Например, *Er war stolz gewesen. Jetzt war er enttauscht, aber auch wieder befreit – jetzt fiel es ihm leichter, sicher seinen Weg zu gehen.*

Ещё более парадоксальной кажется невозможность сочетания претеритума со словом *gestern*. «Вчера» действующих лиц может быть описано только в плюсквамперфекте: *Das Manover gestern hatte acht Stunden gedauert. (B. Frank).*

Одним из самых парадоксальных явлений в языке является изображение явных фантазий и вымыслов как реально происходящих событий. И сказочное, и фантастическое повествование ведется в форме индикатива, приобретая благодаря этому модальность достоверности. Например, *Охотники распороли волку брюхо, и оттуда выскочили живые и невредимые Красная Шапочка и бабушка (Братья Гримм)*. В форме индикатива часто изображаются, кроме того, такие элементы нереальности, как сновидения и представления персонажей, а также некоторые другие воображаемые действия или события. Однако в отличие от сказочного повествования, которое приобретает благодаря индикативу видимость достоверности, сновидения и представления воспринимаются читателем именно как нереальные события. Такому восприятию в значительной степени способствует смена временной формы повествования. Например:

Sie schlief ganz oben, nur durch eine bebende Linie von der Wirklichkeit getrennt, und begann sofort zu traumen.

Sie kniet vor dem Beichtstuhl. Der junge Kaplan hat weiße schreckliche lange Hände, und das Rot seiner flachen Wangen ist innerhalb der Backknochen scharf abgegrenzt. Diesen stillen und gierigen Augen über dem hektischen Wangenrot kann sie es nicht sagen. Sie flüstert absichtlich so leise, daß er sie nicht versteht.

Als der Zug nach Stunden im Wuzburger Bahnhof hielt, glaubte sie nur Sekunden geschlafen zu haben. (B. Frank).

Как видно из примера, восприятие действий как нереальных происходит не в последнюю очередь благодаря обращению автора к так называемому презенсу представления, основное назначение которого заключается именно в изображении воображаемых действий вообще, независимо от их временной соотнесенности. Локализация воображаемых действий во времени – определение их как прошлых или будущих – осуществляется за счет контекста.

Употребление презенса представления является в некотором смысле средством разрешения рассматриваемого парадокса: презенс способствует тому, что нереальные действия воспринимаются как таковые. Следует заметить, что при отказе от презенса неизбежно появление конъюнктива или какого-либо другого показателя ирреальности. Например, *Stell dir vor, Tante, ich wäre ein Affe*. А также: *Eines Nachts traumte ich, daß ich in Osnabrück wäre, der Stadt, wo ich gelebt hatte und wo meine Frau wohnte*. (E. M. Remarque. *Die Nacht von Lissabon*). Таким образом, высказывание *Was unreal ist, steht im Irrealis* не всегда оказывается верным.

Парадоксальные явления обнаруживаются не только в морфологии, но и в синтаксисе. Более того, именно на уровне предложения, где большую роль в определении значения сказанного играют контекст и интонация, особенно часто проявляется несоответствие формы содержанию. Вопросительные предложения, не выражающие вопроса, утвердительные конструкции со значением отрицания, отрицательные конструкции с утвердительным значением, побудительные предложения, не выражающие побуждения, производят впечатление отрицания, казалось бы, безусловно правильного мнения, что вопросительное предложение должно выражать вопрос, а побудительное – побуждение. Однако факты говорят о том, что в языке много такого, что кажется алогичным и иррациональным. Но мнимая нелогичность многих языковых фактов имеет глубокий смысл. Она обеспечивает гибкость языка, позволяет передавать любые оттенки мысли и чувства.

Парадоксальные явления синтаксиса привлекли к себе особое внимание лингвистов, оказавшись в центре интересов прагматики, которая, помимо прочего, занимается изучением сдвигов в значении языковых форм в речевой деятельности. Более того, к прагматике лингвисты и философы первоначально обратились именно для исследования тех высказываний, в которых наблюдается расхождение между собственным значением высказывания и его функцией [6].

Проводимое в прагматике различие прямых и косвенных высказываний тесно связано с традиционным делением предложений по цели высказывания. Повествовательное, вопросительное и побудительное предложения, используемые согласно своему основному назначению, представляют собой прямые высказывания. Косвенное высказывание возникает в результате транспозиции любого из указанных типов предложений в сферу другого типа [7]. Транспозиция разрушает исконное и узаконенное в названии соотношение между формой и содержанием, порождая целый ряд формальных типов предложений – формально-вопросительные, формально-повествовательные и формально-побудительные.

Следует заметить, что формально-побудительные предложения представляют собой довольно редкое явление. К тому же речь идет, как правило, о фразеологизмах типа русского *Ищи дурака!*, заключающих в себе имплицитное отрицание:

– *Мне ужжжжжжжжасно хочется посмотреть кукольный театр! – сквозь слезы сказал Буратино. Купите у меня за четыре сольдо мою чудную курточку.*

– *Бумажную куртку за четыре сольдо? Ищи дурака! (Толстой А.).*

Формальный характер императив может приобрести в сочетании с неопределенно-личными местоимениями *man, einer*. Так, в следующем примере из романа У. Пленц-

допфа *Legende vom Gluck ohne Ende* форма императива передает невозможность совершения действия: *Und dann bediene einer noch die Kasse*. В сочетании с местоимением *man* императив может выражать удивление говорящего по поводу какого-либо события или явления [8]. Например: *Achtunddreißig Grad im Schatten, man denke!* (B. Kellermann).

Особенно большое распространение получили в языке формально-вопросительные предложения. Они выступают либо как экспрессивные утверждения или отрицания, либо берут на себя функции побудительных предложений. Так, приглашение, просьба и даже приказ *Willst du endlich schlafen!* могут быть облечены в форму вопроса.

Обращаясь к экспрессивным высказываниям в форме вопроса, мы сталкиваемся с еще одним парадоксальным несоответствием формы содержанию: предложение, имеющее в своем составе отрицание, является носителем утвердительного суждения, а утвердительное по форме предложение выражает экспрессивное отрицание. Например, *Bin ich etwa verrückt? Wen interessiert das schon? Was geht mich das an? Sie kennen die Via Dolorosa? – Wer kennt sie nicht?* (E. M. Remarque. *Die Nacht von Lissabon*).

И наконец, повествовательные предложения. Они, так же, как и вопросительные предложения, допускают два вида транспозиции, в результате которых возникают повествовательно-побудительные и повествовательно-вопросительные предложения. В основе синтаксической транспозиции в сферу побудительных предложений лежит морфологическая транспозиция форм индикатива (презенса и футурума I) в сферу императива. Например,

– *Wirst du heute mit ihm sprechen?*

– *Vielleicht, wenn ...*

– *Nicht vielleicht. Du wirst heute mit ihm reden!* (Brandner).

Другие возможности использования повествовательных предложений в побудительной функции связаны с более высокой степенью косвенности. Например, *Ich bin ganz Ohr. Ein starker Kaffee wäre jetzt nicht übel*.

Повествовательно-вопросительные предложения представляют собой формально-повествовательные предложения со значением предложения. С вопросительными предложениями их сближает то, что они требуют ответа, который в данном случае должен подтвердить или опровергнуть предположение говорящего. Например, *Gisele schüttelte den Kopf. „Lieber Gott, warum bringt sie sich bei all dieser Pracht ums Leben? Was war sie für ein Typ?*

Мы рассмотрели некоторые парадоксальные явления грамматики немецкого языка. В заключение следует еще раз подчеркнуть два момента: во-первых, мнимый характер лингвистических парадоксов, их ложную алогичность и иррациональность, за которыми скрывается особая языковая логика, учитывающая тот факт, что звуковых знаменательных сочетаний в языке несравненно менее, чем представлений и значений, и, во-вторых, закономерность существования языковых парадоксов, поскольку все представления и значения должны получить языковое выражение, что неизбежно ведет к полифункциональности языковых единиц и изофункциональности их отдельных значений.

Список литературы

1. Баймухаметова, К.И. Виды употребления сослагательного наклонения для выражения нереальности действия в современном немецком языке / К.И. Баймухаметова // Тенденции развития науки и образования. – 2020. – № 64–5. – С. 5–7.
2. Береснева, В.А. Лингвистический синкретизм как лингвомыслительный феномен (на материале грамматической категории времени в немецком языке) / В.А. Береснева // Вестник Московского университета. Серия 19: Лингвистика и межкультурная коммуникация. – 2013. – № 1. – С. 103–109.
3. Кирпу, С.Д. Способы перевода экспрессивных высказываний на английский и немецкий языки / С.Д. Кирпу // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 9. Филология. Востоковедение. Журналистика. – 2009. – № 4. – С. 87–93.

4. Оношко, В.Н. Грамматическая категория времени немецкого языка в аспекте синкретизма / В.Н. Оношко // Вестник Вятского государственного гуманитарного университета. – 2009. – № 4–1. – С. 174.

5. Петрянина, О.В. Лексико-грамматические средства выражения концепта «пространство-время» в современном немецком языке / О.В. Петрянина // Вестник Самарского государственного университета. – 2007. – № 5–1 (55). – С. 28–33.

6. Собчакова, Н.М. Взаимодействие лексических и грамматических кодов в сложноподчиненном предложении с придаточным времени (на материале немецкого и английского языков) / Н.М. Собчакова, О.А. Кострова // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2011. – № 11 (130). – С. 83–88.

7. Столярова, А.Г. Анализ грамматической категории как прием концептуального исследования (на примере универсального концепта время) / А.Г. Столярова // Международный аспирантский вестник. Русский язык за рубежом. – 2020. – № 3. – С. 77–81.

References

1. Baymukhametova, K.I. Types of the use of the subjunctive mood to express the unreality of action in the modern German language / K.I. Baymukhametova // Trends in the development of science and education. – 2020. – No.64–5. – P. 5–7.

2. Beresneva, V.A. Linguistic syncretism as a linguistic-thinking phenomenon (based on the grammatical category of time in German) / V.A. Beresneva // Moscow University Bulletin. Series 19: Linguistics and Intercultural Communication. – 2013. – No.1. – P. 103–109.

3. Kirpu, S.D. Methods of translating expressive vocabulary into English and German / S.D. Kirpu // Bulletin of St. Petersburg University. Series 9. Philology. Oriental studies. Journalism. – 2009. – No.4. – P. 87–93.

4. Onoshko, V.N. The grammatical category of the time of the German language in the aspect of syncretism / V.N. Onoshko // Bulletin of the Vyatka State Humanitarian University. – 2009. – No.4–1. – P. 174.

5. Petryanina, O.V. Lexico-grammatical means of expressing the concept of «space-time» in the modern German language / O.V. Petryanina // Bulletin of the Samara State University. – 2007. – No.5–1 (55). – P. 28–33.

6. Sobchakova, N.M. The interaction of lexical and grammatical codes in a complex sentence with subordinate tense (on the material of German and English) / N.M. Sobchakova, O.A. Kostrova // Bulletin of the Orenburg State University. – 2011. – No. 11 (130). – P. 83–88.

7. Stolyarova, A.G. Analysis of a grammatical category as a method of conceptual research (on the example of the universal concept of time) / A.G. Stolyarova // International Postgraduate Bulletin. Russian language abroad. – 2020. – No.3. – P. 77–81.

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ, УПРАВЛЕНИЕ И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ (ПО ОТРАСЛЯМ)

SYSTEM ANALYSIS, MANAGEMENT AND INFORMATION PROCESSING (ON BRANCHES)

УДК 519.7

*Пензенский государственный университет
архитектуры и строительства*

Россия, 440028, г. Пенза,
ул. Германа Титова, д.28,
тел.: (8412) 48-27-37; факс: (8421) 48-74-77

Данилов Александр Максимович,
доктор технических наук, профессор,
советник РААСН, зав. кафедрой «Математика
и математическое моделирование»
E-mail: fmatem@pguas.ru

Гарькина Ирина Александровна,
доктор технических наук, профессор
кафедры «Математика и математическое
моделирование»
E-mail: fmatem@pguas.ru

Перекусихина Кристина Александровна,
магистрант

*Penza State University of Architecture
and Construction*

Russia, 440028, Penza, 28, German Titov St.,
tel.: (8412) 48-27-37; fax: (8412) 48-74-77

Danilov Aleksander Maksimovich,
Doctor of Sciences, Professor, Adviser of the Russian
Academy of Architectural and Construction Sciences,
Head of the department «Mathematics and
Mathematical Modeling»
E-mail: fmatem@pguas.ru

Garkina Irina Aleksandrovna,
Doctor of Sciences, Professor
of the department «Mathematics
and Mathematical Modeling»
E-mail: fmatem@pguas.ru

Perekusikhina Kristina Alexandrovna,
Undergraduate

СИМУЛЯТОРЫ: МОДУЛЬНЫЙ ПРИНЦИП, СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД

А.М. Данилов, И.А. Гарькина, К.А. Перекусихина

Рассматриваются методологические принципы математического моделирования сложных систем в приложении к проектированию авиационных тренажеров модульной структуры с позиций системного анализа. Определяются структура, основные модули, связи между отдельными модулями тренажера. Анализируется современное состояние, перспективы повышения имитационных характеристик тренажеров для формирования требуемых навыков управления объектом в эргатической системе.

Ключевые слова: сложные системы, эргатические системы, тренажеры, структура, модули, управляющие воздействия оператора, имитационные характеристики

SIMULATORS: MODULAR PRINCIPLE, SYSTEM APPROACH

А.М. Danilov, I.A. Garkina, K.A. Perekusikhina

The methodological principles of mathematical modeling of complex systems as applied to the design of aircraft simulators of a modular structure from the standpoint of system analysis are considered. The structure, main modules, connections between individual modules of the simulator

are determined. The current state, the prospects for improving simulation characteristics of simulators for the formation of required skills of object control in an ergatic system are analyzed.

Keywords: complex systems, ergatic systems, simulators, structure, modules, operator control actions, simulation characteristics

В математическом моделировании сложных систем пристальное внимание уделяется как совершенствованию аппаратных средств, так и методам их применения. В последнее время, в частности при подготовке операторов упор делается не на оттачивание индивидуального мастерства пилотов, а на подготовку экипажа в целом, а также на обучение экипажей с линейной ориентацией. Кратко этот метод можно охарактеризовать как программу летного обучения в линейной (рейсовой) обстановке, предусматривающей участие всего экипажа в решении полетных ситуаций, ведущих к авиационным происшествиям, с основным упором на мобилизацию человеческих ресурсов. Конечная цель метода состоит в недопущении ошибок, связанных с человеческим фактором, путем эффективного контролирования ресурсов. При этом предусматривается выявление и исправление ошибок в случае их совершения, в результате чего уменьшается вероятность угрозы безопасности полета в целом. Пока не существует эффективных методов идентификации эргатических систем, хотя имеются вполне удовлетворительные методы математического моделирования чисто технических систем [1–4]. Это связано с действием в эргатических системах *организмического принципа* (оператор достраивает себя в целостной эргатической системе организмически оптимально; объект предопределяет поведение оператора). Поэтому по данным нормальной эксплуатации реальной человеко-машинной системы могут быть определены лишь *обобщенные динамические характеристики* (как человека, так и объекта); возникает задача определения динамических характеристик объекта методом пробных воздействий (возможно не для всех режимов полета). Организмическим принципом определяются и сложности при решении задач динамического синтеза, сертификации авиационных тренажеров (АТ) из условий формирования у обучаемых требуемых навыков управления. В тренажеростроении пересекаются множества областей современной техники; агрегаты тренажеров имеют различные научные основы построения. Трудности создания общей науки о тренажерах обуславливаются, прежде всего, *трудностями формализации деятельности человека, его восприятия и реакций*. Всякая точная наука оперирует математическими моделями subsystem и процессов, составляющих предмет данной науки. Формализованные модели восприятия летного экипажа, его профессиональной деятельности в полете составляют фундаментальную, необычайно трудную проблему авиационной инженерной психологии, эргономики [5–7]. Пока не удастся решить на стадии проектирования формализованными методами задачи синтеза АТ и расчета показателей их эффективности (недостаточная разработанность моделей). Сегодня уже определены научные основы построения тренажерных subsystem и тренажерных комплексов в целом; они составляют достаточно стройную и практически важную научную дисциплину. Это относится и к *имитатору динамики полета*, который должен воспроизводить в наземных условиях движение самолета в пространстве путём решения *замкнутой системы нелинейных дифференциальных уравнений*. *Входными параметрами являются управляющие воздействия экипажа в кабине самолета, а выходными – параметры полета*. Имитатор в составе тренажера должен обеспечивать выполнение ряда задач: руление по ВПП и рулежным дорожкам; взлёт и набор высоты; полёт по маршруту, снижение и заход на посадку; уход на второй круг с использованием средств комплекса стандартного пилотажно-навигационного оборудования; экстренное снижение; полёт по кругу, заход на посадку, посадку; пробег по ВПП с использованием всех средств торможения; полёт в условиях опасных внешних воздействий. При решении этих задач учитываются: температура воздуха и атмосферное давление; высота (уровень местности) аэродрома; горизонтальная составляющая скорости ветра; вертикальный и горизонтальный «сдвиг ветра»; горизонтальные и вертикальные порывы ветра; влияние обледенения на аэродинамические характеристики; влияние состояния ВПП; масса и

центровка самолёта; режимы работы силовой установки (включая режим обратной тяги); положение управляющих поверхностей, механизация крыла, шасси; аэроупругость. *Принцип имитации динамики полёта основывается на непрерывном вычислении параметров полёта с помощью математических зависимостей, определяемых в реальном масштабе времени с целью создания подобия моделируемого на АТ полёта реальному.* Подобие полёта создается за счёт предоставления экипажу визуальной, акустической и акселерационной информации, а также воспроизведения показаний приборов пилотажно-навигационного комплекса и положения органов управления, в том числе и нагрузок на органы управления. Этим определяется структурная схема модуля имитатора динамики полёта и его взаимосвязь с другими имитаторами (используются значения $\dot{V}_{kx}, \dot{V}_{ky}, \dot{V}_{kz}, V_{kx}, V_{ky}, V_{kz}, V_k, V_x, V_y, V_z, V, W_x, W_y, W_z, \dot{\omega}_Y, \dot{\omega}_Z, \omega_X, \omega_Y, \omega_Z, R_X, R_Y, R_Z, M_{PX}, M_{PY}, M_{PZ}, M_{GY}, M_{GZ}, V_{Yg}, H, M, q, n_x, n_y, n_z, G, \Delta_T, C_X, C_Y, C_Z, X_{Ш}, Y_{Ш}, Z_{Ш}, M_{ШX}, M_{ШY}, M_{ШZ}, N_H, N_L, N_{П}, ПП, \dot{\gamma}, \dot{\psi}, \psi, \gamma, \psi, \alpha, \beta, \beta_T, m_X, m_Y, m_Z$).

В имитаторе используются сигналы и параметры:

- $\Phi_{СТ}, \delta_B, \delta_H, \delta_{ИНТ}, \delta_{Э}$ (система управления);
- $G_T, P_1, P_2, n_{дв1}, n_{дв2}$ (силовая установка);
- $\delta_3, \delta_{ПР}, \delta_{Ш.Н}, \delta_{Ш.Л}, \delta_{Ш.П}, \Phi_{Н.Ш}, \delta_{В.Т}$ (взлётно-посадочные средства);
- $R_{ТЛ}, R_{ТП}$ (тормозная система);
- $N_M, N_{АЭР}, ИК$ (имитатор навигационной обстановки);
- $\alpha, \rho, W_{Yg}, W_{Xgzgсд}, W_{Xgzg}, W_{ГП}, W_{ВП}$, состояние ВПП (имитатор атмосферных явлений);
- противообледенительной системы (включение ПОС, «обледенение»);
- с рабочего места инструктора (сигналы «исходное место», «останов»).

Используются стандартные обозначения. Все параметры содержатся в вычислителе в виде кодов. Шаг интегрирования выбирался из условия обеспечения устойчивости решения. Связь модуля имитатора динамики полёта с модулями других систем и имитаторов осуществлялся на основе внутримашинного и межмашинного обмена информацией. Предусматривалась возможность ввода и вывода на дисплейный модуль значений параметров в физических величинах. *Принятая структура имитатора динамики полёта и использованное программно-алгоритмическое обеспечение позволили получить удовлетворительные имитационные характеристики тренажера, обеспечивающие формирование у операторов необходимых навыков пилотирования [8–11].*

В настоящее время приоритетен переход от разработки отдельных тренажеров к созданию *тотальных систем*, в которых тренажеры являются лишь ее частью. Цель таких систем – обеспечение успешного усвоения курсантами и летчиками полной программы подготовки до определенного уровня летной квалификации. В этом случае есть полный комплекс учебно-методического оборудования: классы для теоретического обучения, тренажеры различной сложности и различного функционального назначения и т.д. Предполагается широкое применение совершенных тренажеров, позволяющих отрабатывать выполнение всех этапов и режимов полета. Для достижения высокой точности моделирования создается полный пакет достоверной информации *в удобной для моделирования форме* и обеспечивается его пополнение вновь поступающей информацией. Повышается внимание к *стандартизации и модульности исполнения тренажеров, к созданию сетей, связывающих отдельные тренажеры и другие технические обучающие средства между собой с целью комплексного, взаимосвязанного и взаимообусловленного использования.* В технических требованиях учитываются особенности архитектуры и интерфейса вычислительной системы с тем, чтобы можно было свести воедино модули тренажера; предусматривается возможность изготовления отдельных модулей тренажера на различных предприятиях, а затем сопряжения этих частей в единой структуре тренажера. *Такая концепция построения и использования тренажеров позволяет сократить сроки проектирования, облегчает работы по формированию больших сетей из множества взаимосвязанных тренажеров. Особую роль играет формирование баз данных.* Использование в трена-

жерах неполных и недостаточно достоверных баз данных приводит к низкому качеству тренировок, неоправданно высокой сложности и дороговизне тренажеров и большой стоимости их жизненного цикла. В системе летной подготовки большое значение уделяется и *роли инструкторов*. Существуют методы, которые могут способствовать повышению летного мастерства путем усиления роли инструктора (*транзакционный анализ*). Широко внедряются методы автоматизированного и адаптивного обучения на базе отработанных учебных программ. Анализ номенклатуры тренажеров показывает, что тренажерный парк планомерно модернизируется *в соответствии с созданием новых функциональных модулей, в первую очередь с вычислительными системами, имитаторами визуальной обстановки и имитаторами акселерационной обстановки*. Возможность указанной модернизации обусловлена *модульностью конструкции и программно-математического обеспечения, позволяющего избежать большей части затрат на разработку и модернизацию тренажеров*. Конечной целью использования модульного подхода являются *сокращение затрат на разработку, повышение надежности и гибкости, т.е., в конечном счете, сокращения экономического плана*.

Тренажеры могут поставляться в различной комплектации: с подвижной кабиной или стационарной, с имитатором визуальной обстановки или без него. Основными частями такого тренажера являются: кабина экипажа, вычислительная система и рабочее место инструктора с электронным терминалом, обеспечивающим управление процессом обучения и контроль над ним. *Большим достоинством описанной концепции является возможность изготавливать на различных предприятиях такие макромодули, как динамическая платформа, система визуализации, составные части вычислительной системы*. Комплексование же из них конкретной конфигурации тренажера может осуществляться на предприятии – поставщике изделия в целом. Наибольшая потенциальная опасность при реализации модульного подхода заключается в желании выбрать узкоспециализированный подход, когда жестко устанавливается структура интерфейса или диктуется использование специального языка программирования. Кроме того, основными преимуществами модульного исполнения тренажеров являются гибкость применения, возможность независимой разработки и простота модернизации. *Модульный подход не предполагает обязательной стандартизации аппаратного обеспечения – главным является стандартизация интерфейсов функциональных модулей*. Каждый функциональный модуль (МФ) представляет собой конструктивно-законченное изделие, реализующее определенную функцию тренажера – обучение пилотов, бортиженеров, операторов. Другого рода модули – модули полетной информации (МПИ), к которым относятся такие устройства, как имитатор визуальной обстановки, имитатор акселерационных эффектов движения, имитатор системы управления, имитатор акустических шумов в кабине экипажа, рабочее место инструктора (РМИ). Интерфейс должен позволять легко объединять любое число модулей в комплексный или специализированный тренажер или тренажер с ограниченным числом модулей полетной информации, например без имитатора визуальной обстановки (пилотажный тренажер для отработки слепого полета) или без имитатора акселерационных эффектов (штурманский тренажер или тренажер бортиженера). Стандартизованный интерфейс, программное и аппаратное обеспечение, устройства управления и отображения информации входят в состав функциональных модулей и модулей полетной информации. Физический уровень функциональных модулей должен обеспечивать такие условия, при которых изменения на одном уровне не влекут за собой изменения на другом. Модульный подход требует дополнительной обработки данных для приведения их в совместимую форму. Присущая модульному принципу гибкость компенсирует эти дополнительные затраты на обработку данных и перепрограммирование. *Выбор физической связи модулей между собой является основой всего модульного подхода*. Эти связи должны быть унифицированными, долгосрочными, гибкими и совершенствуемыми. При правильной структуре модулей должны быть стандартизованы только устройства сопряжения, а внутри модулей должна быть полная свобода совершенствования. Внедрение модульности требует

четкой координации работ по определению функций модулей и интерфейса, а также осуществлению их проверки и сертификации. Отдельный функциональный модуль тренажера можно разрабатывать как законченное изделие, представляющее собой основу специализированного тренажера (летчика, бортинженера, штурмана, оператора). Одновременно предусматривается возможность применения этого модуля в составе комплексного тренажера. *Для объединения тренажерных модулей в комплексный тренажер необходимо определить функциональные связи, т.е. состав и структуру массивов информации, которыми должны обмениваться между собой тренажерные модули. Устройства сопряжения должны быть стандартизированы.* Нормальное функционирование тренажера (информационная и динамическая адекватность модели) может достигаться только при условии правильного формирования полетной информации, необходимой для получения полноценных профессиональных навыков. Это условие может быть выполнено при учете психофизиологии летного труда при создании функциональных модулей, формирующих полетную информацию.

Выводы

Принятая структура имитатора динамики полета и использованное программно-алгоритмическое обеспечение позволили получить удовлетворительные имитационные характеристики тренажера, обеспечивающие формирование у операторов необходимых навыков пилотирования.

Список литературы

1. Danilov, A.M. Imitators of Dynamic Systems with Landing / A.M. Danilov, I.A. Garkina // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2018. – Vol. 449(1). – P. 012002.
2. Авиационные тренажеры модульной архитектуры: монография / Э.В. Лапшин, А.М. Данилов, И.А. Гарькина, Б.В. Ключев, Н.К. Юрков. – Пенза: ИИЦ ПГУ, 2005. – 146 с.
3. Andreev A.N. Information models for designing conceptual broad-profile flight simulators / A.N. Andreev, A.M. Danilov, B.V. Klyuev, E.V. Lapshin, A.V. Blinov, N.K. Yurkov // Measurement Techniques. – August 2000. – Vol.43, Issue 8. – P.667–672.
4. Гарькина, И.А. Тренажеры и имитаторы транспортных систем: выбор параметров вычислений, оценка качества / И.А. Гарькина, А.М. Данилов, С.А. Пылайкин // Мир транспорта и технологических машин. – 2013. – №3(42). – С.115–121.
5. Гарькина, И.А. Проблема многокритериальности при управлении качеством сложных систем / И.А. Гарькина, А.М. Данилов, В.О. Петренко // Мир транспорта и технологических машин. – 2013. – №2(41). – С.123–130.
6. Гарькина, И.А. Аппроксимационные задачи при разработке имитаторов транспортных систем: распараллеливание вычислительных процессов / И.А. Гарькина, А.М. Данилов // Вестник Таджикского технического университета. – 2013. – № 4 (24). – С.75–80.
7. Будылина, Е.А. Аналитическое определение имитационных характеристик тренажерных и обучающих комплексов / Е.А. Будылина, И.А. Гарькина, А.М. Данилов, С.А. Пылайкин // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 6–4. – С. 698–702.
8. Гарькина, И.А. Транспортные эргатические системы: информационные модели и управление / И.А. Гарькина, А.М. Данилов, С.А. Пылайкин // Мир транспорта и технологических машин. – 2013. – № 1 (40). – С. 113–120.
9. Гарькина, И.А. Математическое моделирование управляющих воздействий оператора в эргатической системе / И.А. Гарькина, А.М. Данилов, Э.Р. Домке // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). – 2011. – № 2 (25). – С. 18–23.
10. Данилов, А.М. Математическое и компьютерное моделирование сложных систем / А.М. Данилов, И.А. Гарькина, Э.Р. Домке. – Пенза: ПГУАС, 2011. – 296 с.

11. Бudyлина, Е.А. Приближенные методы декомпозиции при настройке имитаторов динамических систем / Е.А. Бudyлина, И.А. Гарькина, А.М. Данилов // Региональная архитектура и строительство. – 2013. – № 3. – С. 150–156.

References

1. Danilov, A.M. Imitators of Dynamic Systems with Landing / A.M. Danilov, I.A. Garkina // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2018. – Vol. 449(1). – P. 012002.
2. Aviation simulators of modular architecture: monograph / E.V. Lapshin, A.M. Danilov, I.A. Garkina, B.V. Klyuev, N.K. Yurkov. – Penza: IIC PSU, 2005. – 146 p.
3. Andreev, A.N. Information models for designing conceptual broad-profile flight simulators / A.N. Andreev, A.M. Danilov, B.V. Klyuev, E.V. Lapshin, A.V. Blinov, N.K. Yurkov // Measurement Techniques. – August 2000. – Vol.43, Issue 8. – P.667–672.
4. Garkina, I.A. Simulators and simulators of transport systems: choice of calculation parameters, quality assessment / I.A. Garkina, A.M. Danilov, S.A. Pylaikin // World of transport and technological machines. – 2013. – № 3 (42). – P.115–121.
5. Garkina, I.A. The problem of multi-criteria in managing the quality of complex systems / I.A. Garkina, A.M. Danilov, V.O. Petrenko // World of transport and technological machines. – 2013. – №2 (41). – P.123–130.
6. Garkina, I.A. Approximation problems in the development of simulators of transport systems: parallelization of computing processes / I.A. Garkina, A.M. Danilov // Bulletin of the Tajik Technical University. – 2013. – № 4 (24). – P.75–80.
7. Budylina, E.A. Analytical determination of imitation characteristics of training and training complexes / E.A. Budylina, I.A. Garkina, A.M. Danilov, S.A. Pylaikin // Fundamental research. – 2014. – №6–4. – P. 698–702.
8. Garkina, I.A. Transport ergatic systems: information models and control / I.A. Garkina, A.M. Danilov, S.A. Pylaikin // World of transport and technological machines. – 2013. – №1 (40). – P. 113–120.
9. Garkina, I.A. Mathematical modeling of operator control actions in an ergatic system / I.A. Garkina, A.M. Danilov, E.R. Domke // Bulletin of the Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI). – 2011. – №2 (25). –P. 18–23.
10. Danilov, A.M. Mathematical and computer modeling of complex systems / A.M. Danilov, I.A. Garkina, E.R. Domke. – Penza: PGUAS, 2011. – 296 p.
11. Budylina, E.A. Approximate Decomposition Methods for Tuning Simulators of Dynamic Systems / E.A. Budylina, I.A. Garkina, A.M. Danilov // Regional architecture and engineering. – 2013. – №3. – P. 150–156.

Пензенский государственный университет
архитектуры и строительства

Россия, 440028, г. Пенза,
ул. Германа Титова, д.28,
тел.: (8412) 48-27-37; факс: (8421) 48-74-77

Данилов Александр Максимович,
доктор технических наук, профессор,
советник РААСН, зав. кафедрой «Математика
и математическое моделирование»
E-mail: fmatem@pguas.ru

Гарькина Ирина Александровна,
доктор технических наук, профессор
кафедры «Математика и математическое
моделирование»
E-mail: fmatem@pguas.ru

Перекусихина Кристина Александровна,
магистрант

*Penza State University of Architecture
and Construction*

Russia, 440028, Penza, 28, German Titov St.,
tel.: (8412) 48-27-37; fax: (8412) 48-74-77

Danilov Aleksander Maksimovich,
Doctor of Sciences, Professor, Adviser of the Russian
Academy of Architectural and Construction Sciences,
Head of the department «Mathematics and
Mathematical Modeling»
E-mail: fmatem@pguas.ru

Garkina Irina Aleksandrovna,
Doctor of Sciences, Professor
of the department «Mathematics
and Mathematical Modeling»
E-mail: fmatem@pguas.ru

Perekusikhina Kristina Aleksandrovna,
Undergraduate

АНАЛИТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ПИЛОТАЖНЫХ СВОЙСТВ И УПРАВЛЯЮЩИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

А.М. Данилов, И.А. Гарькина, К.А. Перекусихина

Предлагается методика объективизации оценки оператором пилотажных свойств объекта управления в процессе нормальной эксплуатации (короткопериодическая составляющая продольного движения). Разработана методика аналитической оценки управляющих воздействий оператора при наличии люфтов в канале управления и латентного периода в формировании управляющих воздействий. Результаты прошли апробацию. Эффективность оценок подтвердилась при практических разработках.

Ключевые слова: эргатические системы, горизонтальный полет, пилотажные свойства, оценка оператором, управляющие воздействия, оценка параметров, методы

ASSESSMENT ANALYTICAL METHODS OF PILOTING PROPERTIES AND CONTROL ACTIONS

A.M. Danilov, I.A. Garkina, K.A. Perekusikhina

A technique is proposed for objectifying the operator's assessment of the piloting properties of the control object during normal operation (short-period component of the longitudinal motion). A method for the analytical assessment of the operator's control actions in the presence of backlash in the control channel and the latent period in the formation of control actions has been developed. The results have been tested. The effectiveness of the assessments has been confirmed by practical developments.

Keywords: ergatic systems, level flight, aerobatic properties, operator assessment, control actions, parameter assessment, methods

Оценка пилотажных свойств. Ограничимся оценкой оператором пилотажных свойств транспортных самолетов, описываемых в виде

$$\dot{x} = Ax + Bu + f(t).$$

Следуя [1...4], воспользуемся функционалом вида

$$\Phi_0(S) = \frac{a}{\max_i |\alpha_i|} + b \max_i \left| \frac{\beta_i}{\alpha_i} \right| + c \max_i |\beta_i| + \frac{d}{\max_i |\beta_i|};$$

$x, u, f(t)$ – соответственно векторы фазовых координат управляющих и возмущающих воздействий; $\lambda_i = \alpha_i + j\beta_i$ – собственные числа матрицы A ; a, b, c, d – весовые константы. Функционал позволяет объективизировать оценку объекта управления по шкале Купера – Харпера. В случае продольного движения функционал легко представить в виде

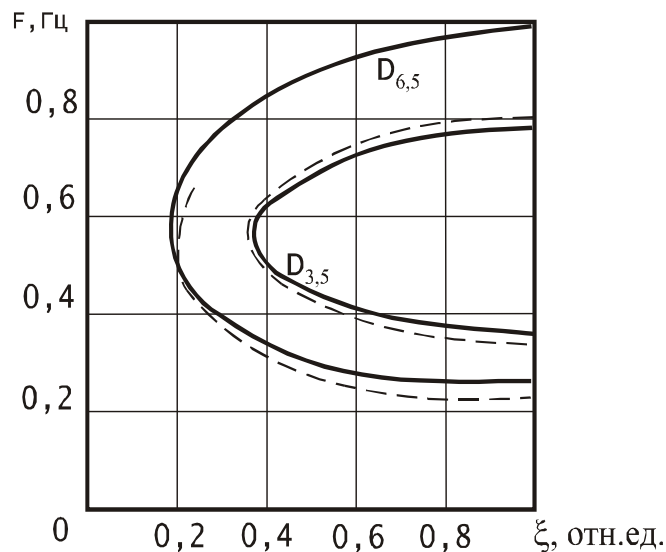
$$\Phi_0(S) = \left(\frac{0,1}{\omega_0} + 0,2 \right) \sqrt{\left| 1 - \frac{1}{\xi^2} \right|} + \frac{12}{\omega_0} + \omega_0;$$

ξ – безразмерный коэффициент затухания; $\omega_0 \xi = \left| \frac{\lambda_1 + \lambda_2}{2} \right|$.

Для колебательных систем $\omega_0 \sqrt{1 - \xi^2}$ – собственная частота ω_c ; для апериодических – $\omega_0 = T^{-1} (T^2 p^2 + 2\xi \cdot T \cdot p + 1 = 0$ – характеристическое уравнение).

Оказалось, что области $D_k = \left\{ (\xi, \omega_0) \mid d_{k-1} \leq \Phi_0(S) < d_k \right\}$ соответствуют экспериментально полученным областям по шкале Купера – Харпера (см. рисунок; пунктир – границы областей по функционалу; жирные линии – экспертные).

Избирательность рассматриваемого функционала в определении классов объектов, к сожалению, недостаточна (для класса 3,5 значение $\Phi_0 \leq 7,5$). Поэтому наравне с использованием $\Phi_0(S)$ для оценки пилотажных характеристик рекомендуется использовать в качестве частных критериев и сами значения ξ и ω_0 .



Пилотажные характеристики:
пунктир – по функционалу; жирные линии – экспертные

Управляющие воздействия. Оценка качества имитационных характеристик тренажеров сводится к сравнению управляющих воздействий оператора в условиях модели и реального объекта (нет четкой методики сравнения кроме случая *компенсирующего отслеживания*, когда оператор следит только за рассогласованием между входом и выходом и стремится уменьшить рассогласование до нуля). С определенной оговоркой это имеет место и для *преследующего отслеживания*, когда оператору *предъявляются независимо* как входной, так и выходной сигналы, и оператор стремится их совместить. При оценке имитационных характеристик производится сопоставление субъективной оценки оператором качества модели по совокупности

объективных показателей. Эта задача принципиально всегда может решаться на основе классификации систем уравнений движения и при использовании специально разработанных функционалов качества. Естественно, *следует учитывать наличие латентного периода формирования управляющих воздействий: выходные координаты двух управляемых объектов с уравнениями движения*

$$\begin{aligned}\dot{x}(t) &= Ax(t) + Bu(t), \quad u(t) = Px(t); \\ \dot{x}(t) &= Ax(t) + Bu(t), \quad u(t) = Px(t - \tau)\end{aligned}$$

существенно отличаются.

При τ достаточно малом, пренебрегая величинами порядка τ^2 , имеем

$$\begin{aligned}x(t) &= x(t - \tau) + \tau A_1 x(t), \quad x(t - \tau) \equiv x_0, \quad t - \tau \leq 0; \\ y(t) &= y(t - \tau) + \tau (Ay(t) + B_1 y(t - \tau)), \quad y(t - \tau) \equiv x_0, \quad t - \tau \leq 0\end{aligned}$$

или

$$\begin{aligned}x(t) &= (E - \tau A_1)^{-1} x(t - \tau), \quad x(t - \tau) \equiv x_0, \quad t - \tau \leq t_0, \\ y(t) &= (E - \tau A)^{-1} (E + \tau B_1) y(t - \tau), \quad y(t - \tau) \equiv x_0, \quad t - \tau \leq t_0.\end{aligned}$$

Справедливо:

$$\begin{aligned}x_k &= (E - \tau A_1)^{-k} x_0, \quad k \geq 1; \quad t_k = t_0 + k\tau; \\ x_1 &= x_0 + \tau A_1 x_0, \quad \tau A_1 x_0 = x_1 - x_0, \\ y_1 &= y_0 + \tau (Ay_0 + B_1 y(t_0 - \tau)) = x_0 + \tau A_1 x_0 = x_1; \\ x_k &= (E - \tau A)^{-k} x_0 = x_0 + k(x_1 - x_0) + \frac{k(k+1)}{2} \tau A_1 (x_1 - x_0), \\ y_k &= x_0 + k(x_1 - x_0) + \frac{k(k+1)}{2} \tau (A + BP)(x_1 - x_0) + \tau k BP(x_1 - x_0); \\ x_k - y_k &= \tau k BP(x_1 - x_0), \quad k \geq 2; \\ x_k - y_k &= \tau^2 k BP(A + BP)x_0, \quad k \geq 2.\end{aligned}$$

При шаге интегрирования τ справедливо:

$$\begin{aligned}x_1 &= x_0 + \tau (A + B)x_0, \quad y_1 = x_0 + \tau (A + B_1)x_0, \\ x_2 &= x_1 + \tau (A + B_1)x_1, \quad y_2 = x_1 + \tau (Ax_1 + B_1x_0), \\ x_3 &= x_2 + \tau (A + B_1)x_2, \quad y_3 = y_2 + \tau (Ay_2 + B_1x_1), \\ x_1 &= y_1, \quad x_2 - y_2 = \tau B_1(x_1 - x_0); \\ \tau A(x_2 - y_2) &= \tau^2 AB_1(x_1 - x_0), \quad \tau B_1(x_2 - x_1) = \tau B_1(x_1 - x_0 + \tau A_1(x_1 - x_0)), \\ x_3 - y_3 &= (x_2 - y_2) + \tau A(x_2 - y_2) + \tau B_1(x_2 - x_1), \\ &\dots \\ x_k - y_k &= \tau(k-1)B_1(x_1 - x_0) = \tau^2 BP(k-1)(A + BP)x_0.\end{aligned}$$

Разница в полученных оценках: в формулах стоят k и $(k-1)$. Более точные оценки с учетом величин порядка τ^2 получим при аппроксимации решения на каждом шаге:

$$\begin{aligned}x(t) &= x(t - \tau) + \tau A_1 x(t) + \frac{\tau^2}{2} A_1^2 x(t) + o(\tau^3); \\ y(t) &= y(t - \tau) + \tau (Ay(t) + B_1 y(t - \tau)) +\end{aligned}$$

$$+ \frac{\tau^2}{2} \left(A(Ay(t) + B_1y(t-\tau)) + B_1(Ay(t-\tau) + B_1y(t-2\tau) + 0(\tau^3)) \right).$$

Результат изменился незначительно.

При шаге интегрирования $\delta = \tau m$

$$x_1 = \delta(A + B_1)x_0 + x_0, \quad \delta A x_0 = x_1 - x_0, \quad y_1 = \delta(A + B_1)x_0 + x_0, (x_1 = y_1).$$

$$x_k = x_{k-1} + \delta(A + B_1)x_{k-1}, \quad y_k = y_{k-1} + \delta A y_{k-1} + \delta B_1 x_0.$$

Справедливо:

$$x_2 - y_2 = \delta B_1(x_1 - x_0),$$

$$\begin{aligned} x_3 - y_3 &= x_2 - y_2 + \delta A(x_2 - y_2) + \delta B_1(x_2 - x_0) = \\ &= \delta B_1(x_1 - x_0) + \delta B_1(x_2 - x_0) + 0(\delta^2) = \delta B_1(x_1 + x_2 - 2x_0) + 0(\delta^2), \end{aligned}$$

$$x_4 - y_4 = x_3 - y_3 + \delta B_1(x_3 - x_0) = \delta B_1(x_1 + x_2 + x_3 - 2x_0) + 0(\delta^2),$$

$$x_k - y_k = \delta B_1(x_1 + x_2 + \dots + x_{k-1} - (k-1)x_0) + 0(\delta^2), \quad k \leq m.$$

Из $x_j = (E + \delta A_1)^j x_0$, $j \geq 1$, с точностью до $0(\delta^2)$ следует:

$$x_k - y_k = \delta B_1 \frac{k(k-1)}{2} (x_1 - x_0), \quad k \leq m.$$

Откуда

$$x_k - y_k = \frac{k(k-1)}{2} \delta^2 BP(A + BP)x_0, \quad k \leq m.$$

Можно получить оценки и для $k > m$, но сложно выявить общую закономерность, в частности, при $k = m + 1$

$$y(t_k - \tau) = y_1 = x_1,$$

$$\begin{aligned} x_{m+1} - y_{m+1} &= x_m - y_m + \delta A(x_m - y_m) + \delta B_1(x_m - x_1) = \\ &= \frac{m(m-1)}{2} \delta B_1(x_1 - x_0) + 0(\delta^2) + \delta B_1(x_0 + m(x_1 - x_0) - x_1) = \\ &= \left(\frac{m(m-1)}{2} + (m-1) \right) \delta B_1(x_1 - x_0) \approx \frac{m(m+1)}{2} \delta BP(x_1 - x_0). \end{aligned}$$

При $1 < j \leq m-1$ справедливо:

$$\begin{aligned} x_{m+j+1} - y_{m+j+1} &= x_{m+j} - y_{m+j} + \delta A(x_{m+j} - y_{m+j}) + \delta B_1(x_{m+j} - y_j) = \\ &= \delta \left(\frac{m(m-1)}{2} + jm \right) BP(x_1 - x_0). \end{aligned}$$

Выводы

1. Предлагается методика объективизации оценки оператором пилотажных свойств объекта управления в процессе нормальной эксплуатации.

2. Произведена аналитическая оценка управляющих воздействий оператора при наличии люфтов в канале управления и латентного периода в формировании управляющих воздействий.

3. Результаты прошли апробацию при настройке имитаторов динамики полета с учетом характеристик рецепторов; процессов формирования идеомоторных реакций оператора; люфта в системе управления; подтвердилась эффективность оценок.

Список литературы

1. Бudyлина, Е.А. Аналитическое определение имитационных характеристик тренажных и обучающих комплексов / Е.А. Бudyлина, И.А. Гарькина, А.М. Данилов, С.А. Пылайкин // *Фундаментальные исследования*. – 2014. – № 6–4. – С. 698–702.
2. Гарькина, И.А. Транспортные эргатические системы: информационные модели и управление / И.А. Гарькина, А.М. Данилов, С.А. Пылайкин // *Мир транспорта и технологических машин*. – 2013. – № 1 (40). – С. 113–120.
3. Гарькина, И.А. Математическое моделирование управляющих воздействий оператора в эргатической системе / И.А. Гарькина, А.М. Данилов, Э.Р. Домке // *Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ)*. – 2011. – № 2 (25). – С.18–23.
4. Бudyлина, Е.А. Приближенные методы декомпозиции при настройке имитаторов динамических систем / Е.А. Бudyлина, И.А. Гарькина, А.М. Данилов // *Региональная архитектура и строительство*. – 2013. – № 3. – С. 150–156.

References

1. Budylyna, E.A. Analytical determination of imitation characteristics of training and education complexes / E.A. Budylyna, I.A. Garkina, A.M. Danilov, S.A. Pylaikin // *Fundamental research*. – 2014. – № 6-4. – P. 698–702.
2. Garkina, I.A. Transport ergatic systems: information models and control / I.A. Garkina, A.M. Danilov, S.A. Pylaikin // *World of transport and technological machines*. – 2013. – № 1 (40). – P. 113–120.
3. Garkina, I.A. Mathematical modeling of operator control actions in an ergatic system / I.A. Garkina, A.M. Danilov, E.R. Domke // *Bulletin of the Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI)*. – 2011. – № 2 (25). – P.18–23.
4. Budylyna, E.A. Approximate methods of decomposition when setting up simulators of dynamic systems / E.A. Budylyna, I.A. Garkina, A.M. Danilov // *Regional architecture and engineering*. – 2013. – №3. – P. 150–156.