

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: techbeton@pguas.ru
www.vestnikpguas.ru

Редакторы: М.А. Сухова,
Н.Ю. Шалимова

Дизайн обложки Л.А. Васин

Компьютерная верстка
Н.А. Сазонова

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 2(17)/2023

Содержание

СТРОИТЕЛЬСТВО. АРХИТЕКТУРА..... 4

Береговой А.М., Шурыгин И.С.
МЕРОПРИЯТИЯ ПО ТЕПЛОЙ ЗАЩИТЕ
ЗДАНИЙ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ
В СИСТЕМЕ ЕСТЕСТВЕННОЙ
ВЕНТИЛЯЦИИ ПОМЕЩЕНИЙ 4

Береговой В.А., Присевка А.С.
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ
ПОЛУЧЕНИЯ ЛЕГКИХ ИСКУССТВЕННЫХ
ЗАПОЛНИТЕЛЕЙ ИЗ ПРИРОДНЫХ ОПОК 9

Гаврилов М.А., Гаврилова Д.М.
ВОДОСТОЙКОСТЬ И ВОДОПОГЛОЩЕНИЕ
МОДИФИЦИРОВАННЫХ ЭПОКСИДНЫХ
КОМПОЗИТОВ..... 16

Глухов В.С., Рябов Д.А., Янгуразов Ю.Р.
ВАРИАНТНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ
ФУНДАМЕНТОВ 23

**Ерошкина Н.А., Коровкин М.О.,
Саденко С.М., Харнаев А.В.**
ВЛИЯНИЕ СОСТАВА ГЕОПОЛИМЕРНОГО
ВЯЖУЩЕГО НА СРОКИ СХВАТЫВАНИЯ,
КИНЕТИКУ ТЕПЛОТЫДЕЛЕНИЯ И
ВСПУЧИВАНИЕ ЯЧЕИСТОГО БЕТОНА..... 31

Махамбетова К.Н., Кузнецова А.А.
ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ
СВОЙСТВ ЦЕМЕНТНЫХ РАСТВОРОВ,
МОДИФИЦИРОВАННЫХ ЭФИРОМ
ЦЕЛЛЮЛОЗЫ И ПОЛИМЕРНЫМИ
ДОБАВКАМИ 38

Петров А.А., Тарасов Р.В.
ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЛЕСТНИЦ
ДЛЯ ЖИЛОГО МАЛОЭТАЖНОГО
СТРОИТЕЛЬСТВА 42

Тарасеева Н.И., Осипов Д.Е.
ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОСЕТЕВЫХ
ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ
ДОРОЖНОЙ ОТРАСЛИ 48

**Хрянина О.В., Саксонова Е.С., Радаев В.А.,
Шереметьева М.И.**
МЕТОДИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ОЦЕНКЕ
РАБОТЫ СИСТЕМЫ «ДОРОЖНАЯ ОДЕЖДА –
ЗЕМЛЯНОЕ ПОЛОТНО» 53

СТАНДАРТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ.....	63	Кувшинова О.А., Кувшинова Е.В. ПРИМЕНЕНИЕ ЦЕЛОЧИСЛЕННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ СЕКМЕНТОВ В 3D-МОДЕЛИ РАЙОНОВ ПОЛЕТА.....	84
Филонова Ю.Б., Макарова Л.В. ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ИТ-КОМПАНИЙ (НА ПРИМЕРЕ НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ)	63	Литвинская О.С. ВИРТУАЛИЗАЦИЯ В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ	90
Максимова И.Н., Крамор Д.Д. ПРИМЕНЕНИЕ ИНСТРУМЕНТОВ КАЧЕСТВА – ДИАГРАММЫ ИСИКАВЫ, ДИАГРАММЫ СРОДСТВА, QFD-АНАЛИЗА – НА ПРИМЕРЕ ПРОИЗВОДСТВА ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ЖАРОЧНОГО ШКАФА.....	70	Лысый С.П., Гнусарев А.И. МОДУЛЬ EDRAWINGS ПРОГРАММЫ SOLIDWORKS	96
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ И КОМПЛЕКСЫ ПРОГРАММ.....	78	Сорокин Д.С., Лавров И.Ю. ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРУКТУРНО-ЗАВИСИМЫХ СВОЙСТВ СТЕКЛОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ.....	103
Васин Л.А. ОРГАНИЗАЦИЯ КОМПЬЮТЕРНОЙ СЕТИ НА ОСНОВЕ УПРАВЛЯЕМОГО ОБОРУДОВАНИЯ.....	78		

Contents

CONSTRUCTION. ARCHITECTURE . 4	STANDARDIZATION AND QUALITY MANAGEMENT 63
Beregovoy A.M., Shurygin I.S. MEASURES FOR THERMAL PROTECTION OF BUILDINGS AND ENERGY SAVING IN THE SYSTEM OF NATURAL VENTILATION OF ROOMS 4	Filonova Y.B., Makarova L.V. PROBLEMS AND PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF IT COMPANIES (USING THE EXAMPLE OF A SCIENTIFIC PRODUCTION ENTERPRISE).....63
Beregovoy V.A., Prisevka A.S. TECHNOLOGICAL ASPECTS OF OBTAINING LIGHT ARTIFICIAL FILLERS FROM NATURAL GAIZE 9	Maksimova I.N., Kramor D.D. APPLICATION OF QUALITY TOOLS: ISHIKAWA DIAGRAMS, AFFINITY DIAGRAMS, QFD ANALYSIS, USING THE EXAMPLE OF PRODUCTION OF ELECTRIC ROASTING CABINET70
Gavrilov M.A., Gavrilova D.M. WATER RESISTANCE AND WATER ABSORPTION OF MODIFIED EPOXY COMPOSITES..... 16	MATHEMATICAL MODELING, NUMERICAL METHODS AND SOFTWARE PACKAGES 78
Glukhov V.S., Ryabov D.A., Yangurazov Yu.R. VARIANT DESIGN OF FOUNDATIONS..... 23	Vasin L.A. ORGANIZATION OF A COMPUTER NETWORK BASED ON CONTROLLED EQUIPMENT78
Eroshkina N.A., Korovkin M.O., Sadenko S.M., Kharnaev A.V. EFFECT OF GEOPOLYMER BINDER COMPOSITION ON SETTING TIME, HEAT RELEASE KINETICS AND FOAMING OF CELLULAR CONCRETE..... 31	Kuvshinova O.A., Kuvshinova E.V. DEVELOPMENT OF COMBINATORIAL ALGORITHMS FOR AUTOMATED EVERYTHING OF VARIANTS OF TECHNOLOGICAL PROCESSING OF AN AIR COMMUNICATION FLIGHT 84
Makhambetova K.N., Cuznetsova A.A. RESEARCH OF TECHNOLOGICAL PROPERTIES OF CEMENT MORTARS MODIFIED WITH CELLULOSE ETHER AND POLYMER ADDITIVES..... 38	Litvinskaya O.S. VIRTUALIZATION IN THE EDUCATIONAL PROCESS90
Petrov A.A., Tarasov R.V. BASICS OF DESIGNING STAIRS FOR LOW-RISE CONSTRUCTION 42	Lysy S.P., Gnusarev A.I. THE EDRAWINGS MODULE OF THE SOLIDWORKS PROGRAM96
Taraseeva N.I., Osipov D.E. APPLICATION OF NEURAL NETWORK TECHNOLOGIES IN SOLVING PROBLEMS OF THE ROAD INDUSTRY 48	Sorokin D.S., Lavrov I. Yu. NUMERICAL MODELING OF STRUCTURE-DEPENDENT PROPERTIES OF GLASS-CRYSTALLINE MATERIALS 103
Hryanina O.V., Saksonova E.S., Radaev V.A., Sheremetyeva M.I. METHODOLOGICAL APPROACH TO THE EVALUATION OF THE SYSTEM «ROAD CLOTHES – ROADBED» 53	

СТРОИТЕЛЬСТВО. АРХИТЕКТУРА

CONSTRUCTION. ARCHITECTURE

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,
главный научный сотрудник научно-
исследовательского сектора
E-mail: ambereg@rambler.ru

Шурыгин Илья Сергеевич,
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 Aleksandr Marcovich,
Doctor of Sciences, Professor, Chief Researcher
of the Research Sector
E-mail: ambereg@rambler.ru

Shurygin Ilya Sergeevich,
Master's Student
E-mail: techbeton@pguas.ru

МЕРОПРИЯТИЯ ПО ТЕПЛОВОЙ ЗАЩИТЕ ЗДАНИЙ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ В СИСТЕМЕ ЕСТЕСТВЕННОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ ПОМЕЩЕНИЙ

А.М. Береговой, И.С. Шурыгин

По результатам проведенных натурных обследований жилых зданий разработаны мероприятия по тепловой защите, обеспечивающие эффект энергосбережения. Выполнены исследования по расчетному моделированию тепло- и массообмена в капиллярно-пористой структуре наружных ограждений, а также по утилизации тепла земли и уходящего теплового потока через цокольное перекрытие с применением технического устройства в заглубленной части здания. Полученные результаты моделирования и натурального эксперимента позволили оценить величину уменьшения расхода тепла на обогрев приточного воздуха в холодное время года.

Ключевые слова: тепловая защита зданий, энергосбережение, естественная вентиляция помещений, тепло земли, экономайзерный эффект, расчетное моделирование

MEASURES FOR THERMAL PROTECTION OF BUILDINGS AND ENERGY SAVING IN THE SYSTEM OF NATURAL VENTILATION OF ROOMS

A.M. Beregovoy, I.S. Shurygin

Based on the results of field studies of residential buildings, thermal protection measures have been compiled to ensure a certain energy-saving effect. Studies have been carried out on the computational modeling of heat and mass transfer in the capillary-porous structure of outer enclosures, as well as on the utilization of ground heat and outgoing heat flow through the basement

floor, using a technical device in the buried part of the building. The learned results of modeling and full-scale experiment allowed to estimate the amount of reduction in heat consumption for heating the supply air in the cold season.

Keywords: thermal protection of buildings, energy saving, natural ventilation of rooms, heat of the earth, economizer effect, computational modeling

Вопросы повышения энергоэффективности и сбережения тепловой энергии в зданиях остаются по-прежнему актуальными в архитектурно-строительном проектировании. Некоторые из этих вопросов, касающиеся улучшения функционирования системы естественной вентиляции и использования возобновляемых источников энергии в зданиях, освещены в работах [1–4].

Более объективной оценке энергоэффективности и состояния тепловой защиты зданий способствует проведение натурных обследований. В результате таких обследований жилых домов с большим сроком эксплуатации, проведенных в г. Пензе и области, установлено, что по уровню тепловой защиты значительная часть зданий в 2-3 раза уступает нормативным требованиям. С целью повышения их энергоэффективности рекомендовано выполнение следующих энергосберегающих мероприятий (см. таблицу).

Мероприятия по повышению тепловой защиты и приблизительная оценка эффекта сбережения тепловой энергии для обследованных зданий

Повышение сопротивления воздухопроницанию через наружные стены, чердачное перекрытие и улучшение естественной вентиляции	
Дополнительная герметизация отдельных стыковых соединений панельных стен с целью уменьшения инфильтрации холодного воздуха. Исправление дефектов в наружном ограждении, влияющих на воздухопроницаемость (участки с «пустошовкой» в кирпичной кладке или с нарушенной паро- и гидроизоляцией). Улучшение работы приточно-вытяжной вентиляции. Замена изношенной сыпучей теплоизоляции в чердачном деревянном перекрытии на плитный утеплитель из жесткой минеральной ваты с устройством поверху слоя, имеющего большое сопротивление воздухопроницанию	Эффект сбережения тепловой энергии 15...20 % Уменьшение теплопотерь через чердачные перекрытия до 3...3,5 раза
Увеличение сопротивления теплопередаче наружных ограждений	
Дополнительное утепление участков наружных стен, имеющих завышенную плотность материала Проведение комплекса мероприятий по удалению избыточной влаги из конструкции ограждений: – ремонт системы наружного водоотвода с крыш зданий – установка наружного экрана стены с вентилируемой прослойкой – энергетическая сушка ограждений со стороны помещений – установка стеклопакетов взамен устаревших конструкций окон – восстановление надежной герметичности пространства теплого чердака (в том числе входных люков в чердак и выходных люков на крышу) – восстановление тепловой защиты холодного чердака и его элементов (чердачное перекрытие, вентиляционные блоки, трубопроводы теплоснабжения)	Сбережение тепловой энергии в пределах 40 % Реконструкция чердаков обеспечивает также улучшение влажностного режима и экологического состояния воздуха помещений

Особенность реализации упомянутых мероприятий по повышению тепловой защиты зданий состоит в том, что их вклад в энергоэффективность здания по мере суммирования снижается [5, 6]. Анализ такого воздействия на экономию тепловой энергии показал, что, во-первых, на подогрев необходимого количества холодного приточного воздуха может уходить до 50 % тепла помещений (1), и это существенно снижает эффективность мероприятий при их суммировании, а во-вторых, отдельные

энергосберегающие мероприятия носят разнонаправленный эффект, снижающий энергосбережение (2) (3).

$$Q_i = 0,28 W \cdot p \cdot c (t_b - t_n), \quad (1)$$

где Q_i – расход тепла на нагревание инфильтрующегося воздуха, Вт; W – количество этого воздуха, поступающее в помещение через ограждающие конструкции, кг/ч; p – плотность воздуха в помещении, кг/м³; c – удельная теплоемкость воздуха, КДж/(кг·°C); t_b и t_n – расчетные температуры воздуха, °C, в помещении и наружного воздуха в холодный период года.

$$K_{ui} = \sum_{j=1}^n q_{ij} \cdot k_{ij}, \quad i = 1 \dots m, j = 1 \dots n, \quad (2)$$

где K_{ui} – суммарный обобщенный критерий энергоэффективности; k_i – безразмерные показатели эффективности, соответствующие энергосберегающим мероприятиям (см. таблицу); q_{ij} – коэффициенты весомости.

С учетом ранее упомянутого понижающего суммарного эффекта энергосберегающих мероприятий, выраженных в формуле (2) показателями k_{ij} , последняя принимает следующий вид:

$$K_{ui} = \sum_{j=1}^n q_{ij} \cdot k_{ij} + \sum_{j=1}^n q_{ij}^* \cdot k_{ij}^* \cdot r_i, \quad (3)$$

где $\sum_{j=1}^n q_{ij} \cdot k_{ij}$ и $\sum_{j=1}^n q_{ij}^* \cdot k_{ij}^*$ – соответственно сумма произведений $q_{ij} \cdot k_{ij}$, в которых сочетание безразмерных показателей эффективности не вызывает понижающего эффекта в энергосбережении или является его причиной; r_i – коэффициенты понижения суммарного эффекта некоторых показателей k_{ij} , определяемые так же, как и коэффициенты q_{ij} .

Противоречивый характер имеют энергосберегающие мероприятия по повышению герметичности наружных ограждающих конструкций, что хотя и способствует экономии тепловой энергии в холодное время года, но в то же время может существенно снизить воздухообмен помещений и ухудшить экологическое состояние воздушной среды помещений. Упомянутое мероприятие по улучшению работы приточно-вытяжной вентиляции позволяет снизить относительную влажность воздуха, улучшить влажностный режим ограждающих конструкций, а следовательно, и уменьшить тепловые потери через них. Но, как показывает формула (1), это повышает расход тепловой энергии на обогрев холодного вентиляционного воздуха.

Анализ зависимостей в формулах (1) и (2) позволил разработать способы снижения отрицательного эффекта этого противоречия на энергоэффективность здания. С этой целью были выполнены исследования по расчетному моделированию тепло- и массообмена в капиллярно-пористой структуре наружных ограждений с использованием формул (4) и (5), а также по утилизации уходящего теплового потока через цокольное перекрытие и тепла земли с применением воздуховода в подземном помещении (6).

$$q_u = \frac{c_b \cdot w \cdot e^{c_b \cdot w \cdot R}}{e^{c_b \cdot w \cdot R_0} - 1} \cdot (t_b - t_n), \quad (4)$$

$$\tau_b = t_n + (t_b - t_n) \cdot \frac{e^{c_n \cdot w \cdot R} - 1}{e^{c_n \cdot w \cdot R_0} - 1}, \quad (5)$$

где q_u – тепловой поток, входящий в ограждение из помещения, Вт/м²; τ_b – температура на внутренней поверхности ограждения, °C; w – расход воздуха через ограждение, кг/м²; c – удельная теплоемкость воздуха, Дж/(кг·°C); R_0 и R – термические сопротивления ограждения и его внутренней поверхности, м²·°C/Вт.

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

где t_x – температура обогреваемого воздуха в сечении x воздуховода; t_c – безразмерный показатель, определяемый расчетным путем; A – величина, зависящая от коэффициента теплообмена, теплоемкости воздуха в данном сечении и его количества, проходящего через воздуховод.

Расчетное моделирование тепло- и массообмена проводилось при следующих исходных данных:

- конструкция наружной стены площадью $8,8 \text{ м}^2$ изготовлена из керамзитобетона плотностью 900 кг/м^3 и имеет внутренний отделочный слой из листов сухой штукатурки;
- расчет производился для помещений площадью 12 м^2 , расположенных на первом этаже 2- и 12-этажных жилых домов;
- значения t_v и t_n равны соответственно $+20 \text{ }^\circ\text{C}$ и $-29 \text{ }^\circ\text{C}$, а скорость ветра составляет $5,6 \text{ м/с}$.

Результаты данного исследования показали, что через наружную стену принятой конструкции при инфильтрации проходит дополнительный приток подогретого вентиляционного воздуха в помещения двенадцати- и двухэтажных зданий в количестве соответственно $8 \text{ м}^3/\text{ч}$ и $1,5 \text{ м}^3/\text{ч}$, что составляет от норматива ($3 \text{ м}^3/\text{ч}$ на 1 м^2 площади комнаты) 22% и 4% . Подогрев холодного наружного воздуха в структуре материала стены происходит благодаря экономайзерному эффекту. По результатам расчетов эффект экономии тепла в помещении 12-этажного здания может достигать 10% при использовании конструкции стены из исследованного керамзитобетона и 18% , если стена выполнена из шлакопемзобетона [1].

Исследование по энергосбережению выполнялось в виде натурального эксперимента с использованием в подземной части здания воздуховода длиной 11 м и сечением 11 см , в один конец которого заходил наружный воздух при $t_n = -6^\circ\text{C}$, а другой конец выходил в жилое помещение первого этажа [2]. По данным инструментальных измерений, при скорости движения воздуха в воздуховоде 1 м/с и его температуре $+9^\circ\text{C}$ на выходе в помещение поступало $34 \text{ м}^3/\text{ч}$ воздуха. Для комнаты упомянутой выше площади 12 м^2 этот объем воздуха близок к нормативному значению. Достижимый при этом эффект экономии тепловой энергии в соответствии с формулой (1) составляет около 48% .

Список литературы

1. Береговой, А.М. Эффект энергосбережения в помещении с естественной вентиляцией в условиях инфильтрации воздуха через наружную стену / А.М. Береговой, А.В. Мальцев, М.А. Дерина, А.В. Гречишкин // Региональная архитектура и строительство. – 2013. – №3. – С. 140–144.
2. Фокин, К.Ф. Строительная теплотехника ограждающих частей здания / К.Ф. Фокин; под ред. Ю.А. Табунщикова, В.Г. Гагарина. – 5 изд., испр. – М.: АВОК-ПРЕСС, 2006. – 256 с.
3. Береговой, А.М. Использование тепла подземных помещений в энергосбережении / А.М. Береговой, М.А. Дерина // Региональная архитектура и строительство. – 2016. – №1. – С. 85–89.
4. Черешнев, И.В. Применение энергосберегающих технологий при реконструкции жилых домов / И.В. Черешнев // Жилищное строительство. – 2005. – №12. – С. 16–19.
5. Береговой, А.М. Повышение энергоэффективности малоэтажных зданий / А.М. Береговой, Е.С. Маризина // Вестник ПГУАС. Строительство, наука и образование. – 2022. – №1(13). – С. 3–7.
6. Береговой, А.М. Показатели эффективности в системном анализе теплопотерь через энергосберегающие наружные ограждения / А.М. Береговой, О.Л. Викторова, В.А. Береговой // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2009. – № 5 (605). – С. 57–61.

References

1. Beregovoy, A.M. The effect of energy saving in room with natural ventilation in terms of air infiltration through exterior wall /A.M. Beregovoy, A. V. Maltsev, M.A. Derina, A.V. Grechishkin // Regional architecture and engineering. – 2013. – №3. – P. 140–144.
2. Fokin, K.F. Thermal Engineering of enclosing parts of the building / K.F. Fokin; under red. Yu.A. Tabunschicova, V.G. Gagarina.– 5 ed. the revision. – M.: AVOK-PRESS, 2006. – 256 p
3. 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.
4. Chereshev, I.V. Application of energy saving technologies in reconstruction of residential buildings / I.V. Chereshev // Housing construction. – 2005. – №12. – P. 16–19.
5. Beregovoy, A.M. Improving the energy efficiency of low-rise buildings / A.M. Beregovoy, E.S. Marizina // Bulletin of the PGUAS. Construction, science and education. – 2022. – №1(13). – P. 3–7.
6. Beregovoy, A.M. Efficiency indicators in the system analysis of heat loss through energy-saving external fences / A.M. Beregovoy, O.L. Viktorova, V.A. Beregovoy // News of higher educational institutions. Construction. – 2009. – No. 5 (605). – P. 57–61.

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 «Технологии строительных
материалов
и деревообработки»

Присевка Александр Сергеевич,
аспирант
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 Science, Professor,
Head of the department «Building Materials and
Woodworking Technology»

Prisevka Aleksandr Sergeevich,
Postgraduate
E-mail: techbeton@pguas.ru

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПОЛУЧЕНИЯ ЛЕГКИХ ИСКУССТВЕННЫХ ЗАПОЛНИТЕЛЕЙ ИЗ ПРИРОДНЫХ ОПОК

В.А. Береговой, А.С. Присевка

Выполнен анализ существующих способов получения искусственных пористых заполнителей из различных типов природного сырья. Рассмотрены аспекты применения гранулированных стеклокристаллических материалов в составах легких бетонов. Использование технологии скоростного высокотемпературного вспенивания гранул, формируемых из опочного порошка с добавлением стекло- и газообразующих компонентов, позволило получить материал с насыпной плотностью менее 200 кг/м³. Эксперименты показали целесообразность предварительной щелочной активации исходной горной породы.

Ключевые слова: легкие бетоны, искусственные пористые заполнители, природные опоки

TECHNOLOGICAL ASPECTS OF OBTAINING LIGHT ARTIFICIAL FILLERS FROM NATURAL GAIZE

V.A. Beregovoy, A.S. Prisevka

The analysis of existing methods for obtaining light aggregates from non-volatile varieties of natural raw materials is carried out. The aspects of the application of granular glass-crystalline materials in light concrete compositions are considered. The use of the technology of high-speed high-temperature foaming of granules formed from a gaize powder with the addition of glass and gas-forming components made it possible to obtain a material with a bulk density of less than 200 kg/m³. Experiments have shown the feasibility of preliminary alkaline activation of the applied gaize.

Keywords: lightweight concretes, artificial porous aggregates, natural gaize

Наблюдаемый рост темпов жилищного строительства диктует необходимость увеличения производства теплоэффективных стеновых материалов, в том числе легких бетонов на пористых заполнителях. Безусловно в рассматриваемой группе керамзитобетон является наиболее распространенным и проверенным практикой строительства материалом. Однако во многих регионах страны отсутствуют подходящие для производства керамзитового гравия легковспучивающиеся разновидности глин. Это обуславливает актуальность поиска решений в области технологий получения искусственных пористых заполнителей из имеющихся в наличии горных пород. Применительно к Пензенской области, исходя из комплекса технологических и химических показателей, в этом качестве целесообразно рассмотреть опочные горные породы [1, 2].

В работе применяли опоки Сурско-Маисского месторождения, которые представляют собой микропористые породы, сложенные преимущественно аморфным кремнеземом (опалом), а также зернами кварца, полевых шпатов и глауконита с существенной примесью глинистого вещества. Разведанные запасы опоки данного месторождения составляют 17 млн т, при этом залежи имеют форму уплощенных линз с относительно невысокой мощностью. Месторождение расположено в Никольском районе Пензенской области, на левом склоне долины р. Инза, между р.п. Сура и с. Павловка, и удалено от г. Никольска на 18 км на северо-запад (рис. 1).

Месторождение состоит из двух участков – Павловского и Сурского-1, разделенных эрозионным врезом. Опока указанного месторождения имеет среднюю плотность (1610 кг/м^3) и обладает высокой гидравлической активностью (200-250 мг/г).

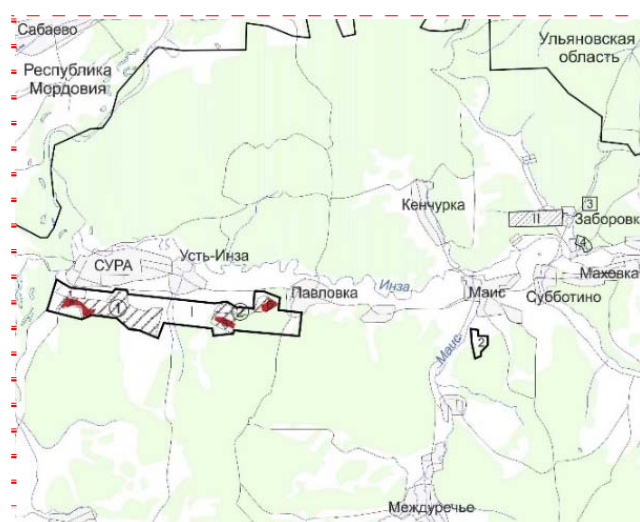


Рис. 1. Ситуационный план расположения Сурско-Маисского месторождения опоки

Для проведения опытов опока отбиралась с промежуточного склада ООО «Азия-Цемент» фракцией не более 60 мм в естественной влажности (28...32 %). Результаты рентгенофлуоресцентного и рентгенофазового анализов породы представлены в табл. 1 и 2.

Т а б л и ц а 1

Усреднённый химический состав опок Сурско-Маисского месторождения

Содержание оксидов, мас. %*						
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	R ₂ O	CaO	MgO	ППП
73,94	7,73	4,19	2...2	1,25	1,12	2,1

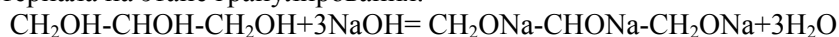
*Представлены оксиды с содержанием более 1 % (мас.)

Минерально-фазовый состав опоки

Минерал	Содержание, мас. %
Са-сметит (монтмориллонит и др.)	21
На-плагиоклаз (альбит)	1
Кристаллит (кристаллический)	2
Микроклин (К-На-полево шпат)	4
Кварц (кристаллический α -кварц)	11
Аморфный кремнезём	61

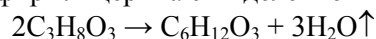
Полученные данные показывают, что химический состав характеризуется наличием глинистых минералов, включая относительно редкий Са-сметит (21 %). В этой связи были проанализированы особенности этого минерала в аспекте получения пористого заполнителя. Известно, что структура смектита $[(\text{Na}/\text{Ca})_{0.33}(\text{Al}/\text{Mg})_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot (\text{H}_2\text{O})_2]$ представляет собой чередование правильных пакетов и равнотолщинных водных слоев, а также зон с беспорядочной смесью пакетов различной степени гидратации. Структура Са-сметита во многом повторяет структуру иллита $[(\text{K}_{0.75}(\text{H}_3\text{O})_{0.25})\text{Al}_2(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}((\text{H}_2\text{O})_{0.75}(\text{OH})_{0.25})_2]$, наличие которого в составе глинистого сырья обуславливает его способность вспучиваться при нагреве. В отличие от На-сметита, у которого межплоскостные расстояния равны 1,25 нм, присутствие обменных катионов Ca^{2+} , удерживающих по два молекулярных слоя воды в межпакетных пространствах, увеличивает данный параметр до 1,55 нм. Особенности структуры обуславливают высокую селективную адсорбцию Са-сметита по отношению к полярным органическим жидкостям. При этом насыщение глицерином увеличивает межплоскостные расстояния на 35...40 %.

При разработке составов в качестве порообразователя был выбран глицерин. Это обосновано сочетанием таких факторов, как его высокое термическое расширение, экологическая безопасность, поверхностная активность к стекловидному расплаву, стабилизирующая межпоровые перегородки в процессе высокотемпературного вспенивания. Учитывали также положительный опыт применения глицерина в зарубежных промышленных технологиях по производству пеностекла Foamglas (Pittsburg Corning, США). На этапе смешивания наличие в добавке глицерина обеспечивает ускорение гомогенизации проектируемой массы, включающей опоку и щелочной компонент (NaOH, Na_2CO_3 и др.). Результатом химического взаимодействия глицерина и гидроксида натрия является образование коллоидной суспензии – глицерата натрия, который стабилизирует смешиваемую массу, увеличивая прочность и процент выхода готового материала на этапе гранулирования.

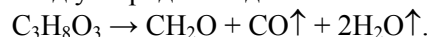


Ступенчатое разложение глицерина при нагревании повышает его эффективность как добавки-порообразователя. При этом протекают следующие реакции:

- при 200 °С образуется эфир глицерина с выделением водяного пара:



- при 300 °С происходит гомолитическое расщепление, в результате которого образуются формальдегид, оксид углерода и вода:



Установленные особенности позволили обосновать благоприятное влияние сочетания глицерина и Са-сметита, присутствующего в составе опоки, на процесс получения пористого гранулированного материала.

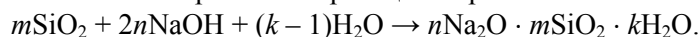
Экспериментальная часть. На первом этапе определяли оптимальные режимы грануляции. Процесс проводили с помощью лабораторного гранулятора-смесителя ОВП-020 (ООО «Феникс») с максимальной загрузкой 1,2 л. Он предназначен для получения в периодическом режиме мелкосферических гранул из порошкообразных компонентов. Основным узлом, обеспечивающим высокую эффективность процессов смешивания и гранулирования, является высокооборотный ротор со смесительными

элементами, помещенный со смещением к борту в наклонную вращающуюся камеру цилиндрической формы диаметром 200 мм (фото 1). Частоту вращения ротора регулировали частотным преобразователем в диапазоне 600...700 об/мин. Скорость вращения емкости составляла 75 об/мин. Опыты показали, что интенсивное турбулентное движение потоков обеспечивает формирование однородных и достаточно прочных гранул при длительности процесса 3...5 минут.

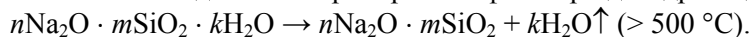


Фото 1. Гранулятор-смеситель ОВП-020 для получения сырцовых гранул

Полученные гранулы рассеивали на ситах с круглыми отверстиями диаметром 0,316, 0,63 и 1,25 мм с целью их разделения на три основные фракции. После этого навески оставляли на 24 часа в комнатно-сухих условиях для щелочной активации опочного компонента за счет протекания реакции образования метасиликата натрия:



Согласно имеющимся данным [1], предварительная обработка щелочью обеспечивает снижение температуры варки стекла на 250...300°C. Наличие новообразований в виде водного метасиликата натрия способствует дополнительной поризации гранул по причине интенсивного выделения парообразной фазы при дегидратации



На следующий день подготовленные таким образом гранулы подвергали нагреву и обжигу, который совмещался с их вспучиванием. Оптимальный режим включал следующие этапы: подогрев сырцовых гранул при 270 °С в течение 30 мин; перенос материала в муфельную печь, предварительно разогретую до 850 °С; выдержку в печи в течение 15...20 мин; охлаждение на воздухе (рис. 2). Внешний вид полученных гранул показан на фото 2.

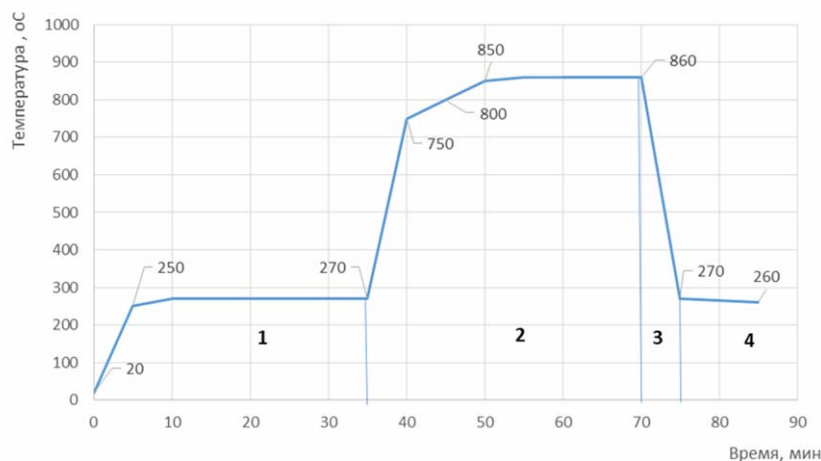


Рис. 2. Режим обжига гранул:

1 – прогрев; 2 – вспучивание; 3 – фиксация макроструктуры; 4 – охлаждение

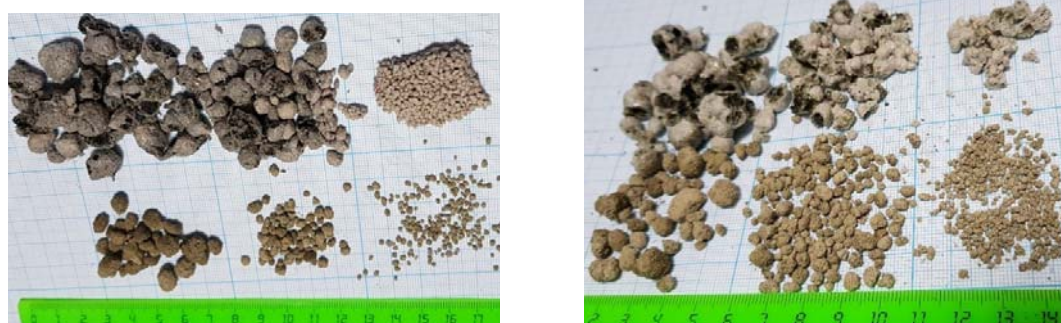
1 – базовый состав



2 – модифицированные составы:



Состав № 1: до (слева) и после (справа) обжига



Составы № 3 (слева) и №4 (справа)

Фото 2. Гранулы различных вариантов проектируемых составов (табл. 3)

Т а б л и ц а 3

Рецептуры проектируемых составов

Материал	Количество материала, мас. %, в составе				
	базовый	Модифицированные			
		1	2	3	4
Опока	75	66	61	64,8	64,1
NaOH	-	8	-	7,7	7,7
Na ₂ CO ₃	-	-	10,3	-	-
Вода	25	25	26	25,6	23,1
Глицерин	1	1	0,9	1,95	1,3
KNO ₃	-	-	1,8	-	-
Na ₂ B ₄ O ₇	-	-	-	-	3,84
Наименование показателя	Свойства материала				
Плотность, кг/м ³ :					
– средняя	330	350	570	545	450
– насыпная	180	198	357	300	245
Прочность R _{сж} , кгс/см ²	2,0	15,3	23,2	21,4	13,5

Анализ данных в табл. 3 показывает, что с учетом химического состава основные стеклоформирующие процессы при обжиге опокосодержащих шихт будут происходить в системе « $\text{Na}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ », где легкоплавкими кристаллическими фазами являются альбит $\text{Na}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$ и нефелин $(\text{Na,K})\text{AlSiO}_4$. При этом твердость последнего на 20...25 % ниже; поэтому при проектировании состава необходимо исходить из условия максимального выхода альбита, как наиболее прочной кристаллической фазы. Анализ изолиний на диаграмме состояния исследуемой трёхкомпонентной системы показывает, что минимальная температура образования альбита составляет 723°C .

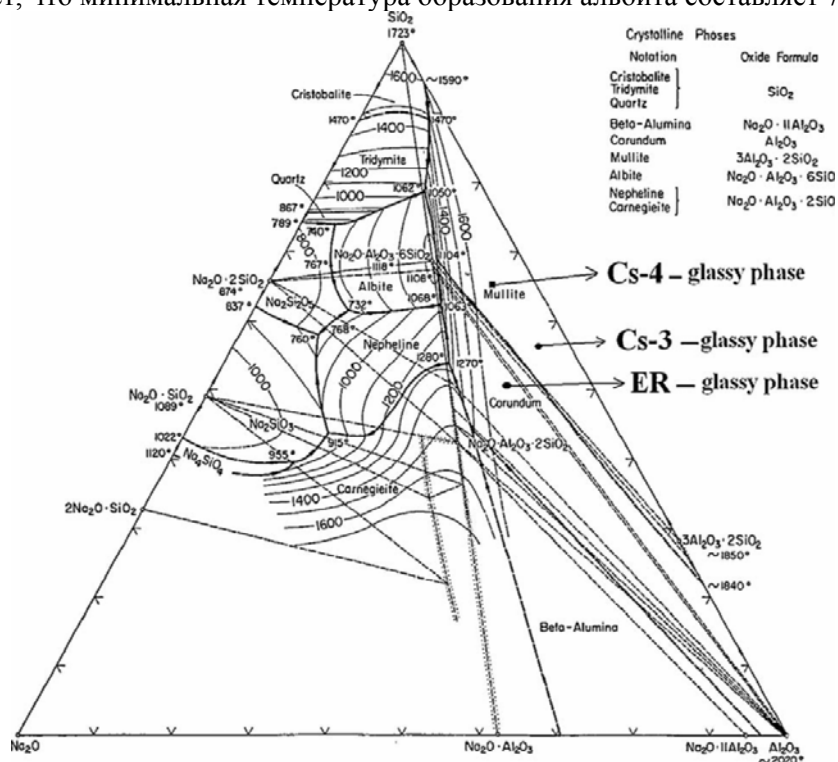


Рис. 3. Диаграмма состояния системы $\text{Na}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$

Натриевый полевоый шпат способен неограниченно смешиваться с анортитом, образуя плагиоклазы. К достоинствам альбита, как плавня в составе сырьевой шихты для получения пористого заполнителя, относится пониженная вязкость формируемого расплава, что облегчает пластические деформации и увеличивает коэффициент вспенивания при обжиге.

Пустотность заполнителей для бетона лежит в интервале от 20 до 50 %. Заполнитель, состоящий из гранул равной крупности, характеризуется повышенной межзерновой пористостью (40-47 %). При наилучшем сочетании в заполнителе крупных, средних и мелких зерен данный показатель может быть уменьшен до 30 % [4, 5]. Из разработанных составов можно получать легкие искусственные пористые заполнители с насыпной плотностью $180...245 \text{ кг/м}^3$ при расходе газообразующей добавки в количестве 1,3 % от общей сырьевой массы. Введение плавня в виде $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ способствует увеличению содержания стекловидного расплава и коэффициента вспучивания гранул.

Выводы. Анализ результатов проведенных экспериментов свидетельствует о целесообразности применения опочных пород в качестве базового компонента для получения искусственных заполнителей со стекловидной структурой. При этом добавка глицерина обеспечивает увеличение выхода качественных сырьевых гранул в процессе окатывания. Для получения более прочных гранул и улучшения их вспучиваемости рекомендуется проводить предварительную щелочную активацию путем их выдержки в течение 24 часов при комнатной температуре в закрытых емкостях. Использование технологии скоростного высокотемпературного вспенивания гранул, формируемых из опочного порошка с добавлением стекло- и газообразующих компонентов, позволило получить материал с насыпной плотностью менее 245 кг/м^3 .

Список литературы

1. Береговой, В.А. Искусственные пористые заполнители на основе гранулированного пеностекла / В.А. Береговой, Д.С. Сорокин // Региональная архитектура и строительство, – 2015.– № 2 – С. 78–83.
2. Beregovoy, V.A. Porous glass-crystal materials for thermal protection of building and structures / V.A. Beregovoy, A.M. Beregovoy //ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. – 2016. – Vol.11, No.19. – P. 11709–11712.
3. Мелконян, Р.Г. Аморфные горные породы и стекловарение / Р.Г. Мелконян. – М.: НИИ «Природа», 2002. – 266 с.
4. Воробьев, В.А. Технологии производства материалов и изделий и автоматизация технологических процессов на предприятиях дорожного строительства / В.А. Воробьев, В.П. Попов, М.Ю. Абдулханова. – М.: ЛитРес, 2020. – 577 с.
5. Proshin, A.P. Unautoclave foam concrete in construction, adopted to the regional conditions / A.P. Proshin, V.A. Beregovoy, A.M. Beregovoy, A.I. Eremkin //Proceedings of the International Conference on the Use of Foamed Concrete in Construction. 2005 International Congress – Global Construction: Ultimate Concrete Opportunities. Сер. «Use of Foamed Concrete in Construction – Proceedings of the International Conference» sponsors: Institution of Civil Engineers, American Concrete Institute, Japan Society of Civil Engineers, University of Dundee, UK; editors: Dhir R.K., Newlands M.D., McCarthy A., University of Dundee, Concrete Technology Unit. Dundee, Scotland, 2005. P. 113–120.

References

1. Beregovoy, V.A. Artificial porous fillers based on granular foam glass / Beregovoy V.A., Sorokin D.S. //Regional architecture and engineering. – 2015.– No. 2 – P. 78–83
2. Beregovoy, V.A. Porous glass-crystal materials for thermal protection of building and structures / V.A. Beregovoy. A.M. Beregovoy //ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. – 2016. – Vol.11, No.19. – P. 11709–11712.
3. Melkonyan, R.G. Amorphous rocks and glassmaking / R.G. Melkonyan. – М.: NIA «Nature», 2002. – 266 p.
4. Vorobyev, V.A. Technologies of production of materials and products and automation of technological processes at road construction enterprises / V.A. Vorobyev, V.P. Popov, M.Yu. Abdulkhanova. – М.: LitRes, 2020. – 577 p.
5. Proshin, A.P. Unautoclave foam concrete in construction, adopted to the regional conditions / A.P. Proshin, V.A. Beregovoy, A.M. Beregovoy, A.I. Eremkin //Proceedings of the International Conference on the Use of Foamed Concrete in Construction. 2005 International Congress – Global Construction: Ultimate Concrete Opportunities. Сер. «Use of Foamed Concrete in Construction – Proceedings of the International Conference» sponsors: Institution of Civil Engineers, American Concrete Institute, Japan Society of Civil Engineers, University of Dundee, UK; editors: Dhir R.K., Newlands M.D., McCarthy A., University of Dundee, Concrete Technology Unit. Dundee, Scotland, 2005. P. 113–120.

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

Гаврилов Михаил Александрович,
кандидат технических наук, доцент кафедры
«Начертательная геометрия и графика»
E-mail: gavrilov79@inbox.ru

Гаврилова Дарья Михайловна,
студент
E-mail: daragavrilova5@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

Gavrilov Mikhail Aleksandrovich,
Candidate of Sciences, Associate Professor of the
department «Descriptive Geometry and
Graphics»
E-mail: gavrilov79@inbox.ru

Gavrilova Daria Mikhailovna,
Student
E-mail: daragavrilova5@gmail.com

ВОДОСТОЙКОСТЬ И ВОДОПОГЛОЩЕНИЕ МОДИФИЦИРОВАННЫХ ЭПОКСИДНЫХ КОМПОЗИТОВ

М.А. Гаврилов, Д.М. Гаврилова

Приводятся результаты исследования процессов водопоглощения и водостойкости модифицированных эпоксидных композитов. В качестве наполнителей использованы кварцевый песок и отходы производства стекла ТФ-110. Рассмотрены особенности влияния технологии изготовления материала на водостойкость и водопоглощение. Установлено, что метод прессования позволяет получить композит с оптимальным набором свойств. Показано, что введение в состав композитов кремнийорганических жидкостей улучшает их водостойкость и снижает степень водопоглощения.

Ключевые слова: водостойкость, водопоглощение, модификация, эпоксидный композит

WATER RESISTANCE AND WATER ABSORPTION OF MODIFIED EPOXY COMPOSITES

M.A. Gavrilov, D.M. Gavrilova

Results of research concerning the processes of water resistance and water absorption for modified epoxy composites are presented. Various filler types were used, such as quartz sand and TF-110 glass production waste. Peculiarities of different technology approaches were considered to determine degree of water resistance and absorption. It has been determined that compression method allows to produce a composite with optimal properties. Introduction of silicon-organic liquids improves the water resistance of epoxy composites and also lowers the degree of water absorption.

Keywords: water resistance, water absorption, modification, epoxy composite

Долговечность и надёжность полимерных композиционных материалов (ПКМ) зависят от их способности сопротивляться деструктивному воздействию агрессивных факторов. Взаимодействие композитов с агрессивными средами является сложным и многоступенчатым процессом, протекающим по следующей схеме: адсорбирование молекул агрессивной среды поверхностью композита, физико-химическое взаимодействие агрессивной среды с поверхностными слоями ПК, образование продуктов реакции, препятствующих диффузионному и конвективному продвижению среды в композит, отвод продуктов реакции из зоны взаимодействия [1]. При этом в материале будут появляться обратимые и необратимые изменения.

Обратимые изменения, такие, как набухание, растворение, исчезают сразу после удаления агрессивной среды. Наибольшую опасность представляют необратимые изменения, сопровождающиеся перестройкой и разрывом физических и химических

связей под действием агрессивной среды, что и приводит к потере прочностных показателей [2].

Наличие плотной структуры у композитов может быть достигнуто при оптимальном соотношении между всеми компонентами: связующим, отвердителем, частицами твёрдой фазы, а также зависит от факторов, влияющих на структурообразование и формирование прочностных показателей композитов.

Наиболее универсальной характеристикой эксплуатационных показателей ПКМ при воздействии химически активной среды является водостойкость, так как взаимодействие с водой зачастую бывает более опасным по сравнению с другими средами.

Водостойкость эпоксидных литевых и пресс-композитов определялась на образцах, составы которых представлены в таблице.

Составы эпоксидных композиционных материалов (ЭКМ)
для определения водостойкости

№ ЭК на рис.1, 2	Способ формования	Степень наполнения П/Н, по массе	Содержание компонентов в % по массе			
			ЭД-20	ПЭПА	SiO ₂	ТФ-110
1	Литевой	1/5	16,13	3,23	80,64	-
2	Литевой	1/5	16,13	3,23	-	80,64
3	Пресс-композит	1/18	5,21	1,04	-	93,75
4	Пресс-композит	1/22	4,31	0,86	-	94,83
5	Пресс-композит	1/24	3,97	0,79	-	95,24

Значения водопоглощения композитов на кварцевом песке и отходах производства стекла марки ТФ-110 представлены на рис. 1 (кривые 1 и 2). Наиболее интенсивное поглощение воды в этих композитах происходит в течение первых семи суток. В дальнейшем наблюдается стабилизация, сопровождающаяся замедлением темпов поглощения воды. После 28 суток экспозиции в воде водопоглощение эпоксидных композитов (ЭК) на SiO₂ составило 1,84 %, а ЭК на ТФ-110 – 1,35 %.

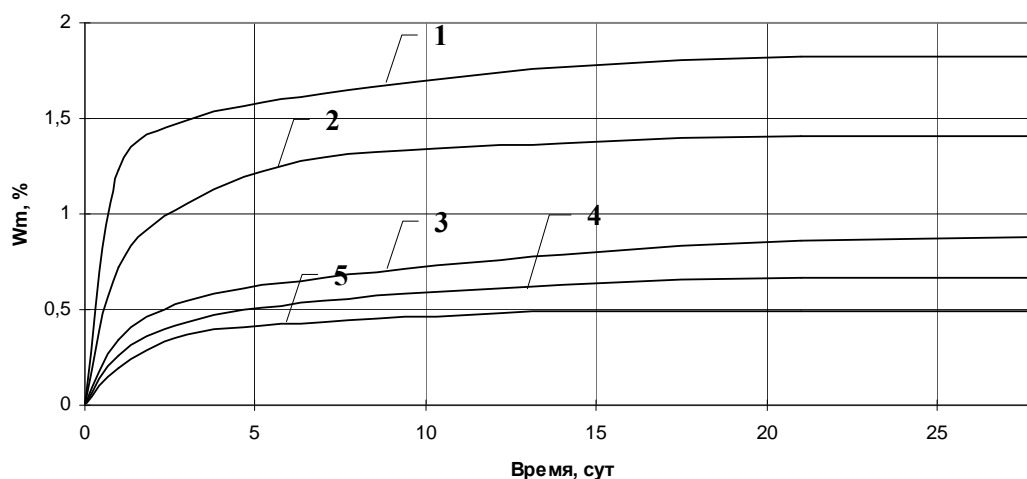


Рис. 1. Водопоглощение ЭК:

- 1 – литевой на кварцевом песке, П/Н=1/5; 2 – литевой на ТФ-110, П/Н=1/5;
- 3 – пресс-композит, П/Н=1/18; 4 – пресс-композит на ТФ-110, П/Н=1/22;
- 5 – пресс-композит, П/Н=1/24

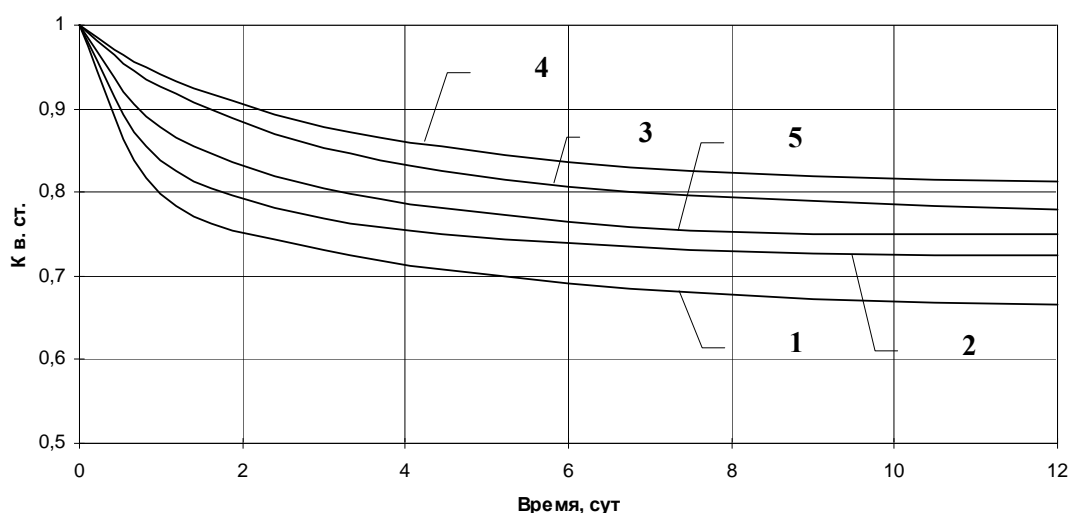


Рис. 2. Водостойкость ЭК:

- 1 – литевой на кварцевом песке, П/Н=1/5; 2 – литевой на ТФ-110, П/Н=1/5;
 3 – пресс-композит, П/Н=1/18; 4 – пресс-композит на ТФ-110, П/Н=1/22;
 5 – пресс-композит, П/Н=1/24

Худшие экспериментальные результаты для ЭКМ на кварцевом песке объясняются большей гидрофильностью этого наполнителя по сравнению со стеклом ТФ-110. Содержащиеся на поверхности кварца гидроокисильные группы ухудшают адгезионное взаимодействие с эпоксидным связующим, что сопровождается не только снижением прочностных показателей, но и заметным повышением пористости ПКМ. Кроме того, ОН-группы являются «хорошими» проводниками молекул воды в структуру полимерраствора, что также сказывается на величине водопоглощения.

Долговечность композитов в водной среде оценивали по изменению величины коэффициента водостойкости во времени [3]. Результаты исследования водостойкости литевых ЭКМ на SiO_2 и ТФ-110 представлены на кривых 1 и 2 (рис. 2).

После месячной экспозиции в дистиллированной воде снижение прочностных показателей происходит примерно по одним и тем же законам, и $K_{в.ст.}$ составляет 0,78 и 0,82 соответственно для наполнителей SiO_2 и ТФ-110. Однако при дальнейшей выдержке в воде появляются расхождения в процессе деградации композитов. Так, снижение прочности ЭК на SiO_2 наиболее интенсивно наблюдается в период до 9 месяцев. После этого отмечается стабилизация, и к 12 месяцам для данных композитов $K_{в.ст.}$ составляет 0,66. Стабилизация деструктивных процессов в ЭК на ТФ-110 происходит значительно быстрее, и к 12 месяцам водостойкость $K_{в.ст.} = 0,73$.

Анализ полученных данных показал, что долговечность композитов в водной среде зависит от характера физико-механического взаимодействия на межфазной границе. Менее гидрофильный наполнитель марки ТФ-110 содержит в своем составе меньшее количество диоксидов кремния (около 27,27 %) по сравнению с кварцевым песком, что способствует увеличению числа водородных и ковалентных (оксидных) связей матрицы с наполнителем, повышающих структурную устойчивость эпоксидных полимеррастворов.

Водопоглощение ЭКМ может быть значительно уменьшено за счёт создания высокоплотной структуры материалов методом прессования жёстких высоконаполненных смесей. Одновременно при этом уменьшается расход эпоксидного связующего на 67-72 % по сравнению с литевыми аналогами на тех же заполнителях.

Величина водопоглощения у пресс-компози́тов на ТФ-110 после 28 суток выдержки в дистиллированной воде в 2 раза меньше, чем у литевых ЭК (кривые 2, 3, 4 на рис. 1). Кроме того, по абсолютной величине водопоглощения пресс-компози́тов в течение указанного срока изменяется незначительно. Это свидетельствует о высокой устойчивости ЭКМ к воздействию воды при капиллярном подсосе вследствие низкой пористости.

Однако при увеличении степени наполнения прессованных ЭК выше оптимальных значений (кривая 5 на рис. 1) водопоглощение возрастает до $W_m = 0,88$ %. При этом вода, проникающая в структуру композита, пластифицирует эпоксидное связующее, что приводит к ослаблению адгезионного взаимодействия на границе «полимер – наполнитель».

Анализ экспериментальных результатов по исследованию водостойкости пресс-компози́тов на ТФ-110 (рис. 2, кривые 2-5) показал, что наиболее водостойкими после годичной выдержки в дистиллированной воде являются пресс-компози́ты с П/Н=1/18; 1/22. Величина коэффициента водостойкости для них составила соответственно 0,77; 0,81, что на 17-23 % выше, чем для литевых аналогов.

Таким образом, применение метода прессования оптимально наполненных смесей позволяет получать низкопористые материалы с высокой устойчивостью к деструктивному воздействию воды.

Наиболее эффективным и технологичным путём повышения химической стойкости ПКМ является введение в их составы модифицирующих добавок, вид и концентрация которых зависят от многих факторов: природы полимера и наполнителя, характера взаимодействия на границе раздела фаз, характера и продолжительности агрессивного воздействия и др. [4].

Присутствие в терморезактивных смолах модификаторов способствует повышению свойств ПКМ за счёт усиления адгезионного взаимодействия на границе раздела фаз вследствие улучшения смачивания связующим частиц наполнителя. Всё это способствует регулированию процессов структурообразования, снижению внутренних напряжений, усадочных деформаций, что повышает эксплуатационные характеристики ПКМ [5].

Влияние добавок кремнийорганических жидкостей (КОЖ) на величину водопоглощения пресс-компози́тов представлено на рис. 3–6.

Анализ результатов исследований показал, что наиболее эффективными являются малые концентрации добавок: 0,5 % – для КО; 0,01 % – для ГЖ 136-41. Водопоглощение ЭК с такими добавками после годичной экспозиции в воде имеет значение $W_m = 0,11-0,18$ %, что на 50 % меньше водопоглощения контрольных немодифицированных образцов.

При введении малых добавок КОЖ в составы ЭКМ происходит усиление адгезионного взаимодействия на межфазной границе по следующим причинам. КОЖ, представляющие собой полиэтилфенилсилоксаны, эффективно гидрофобизируют оксидные поверхности, к которым относятся отходы стекла марки ТФ-110. КОЖ адсорбируются на поверхности наполнителя по механизму обратимого гидролиза с образованием водородных и силоксановых (Si-O-Si) связей [5]. Образующийся при этом ориентированный слой способствует улучшению смачиваемости поверхности наполнителя и усилению сцепления эпоксидного связующего с ТФ-110. Гидрофобизация наполнителя значительно затрудняет диффузию воды в структуру композита, что снижает величину водопоглощения.

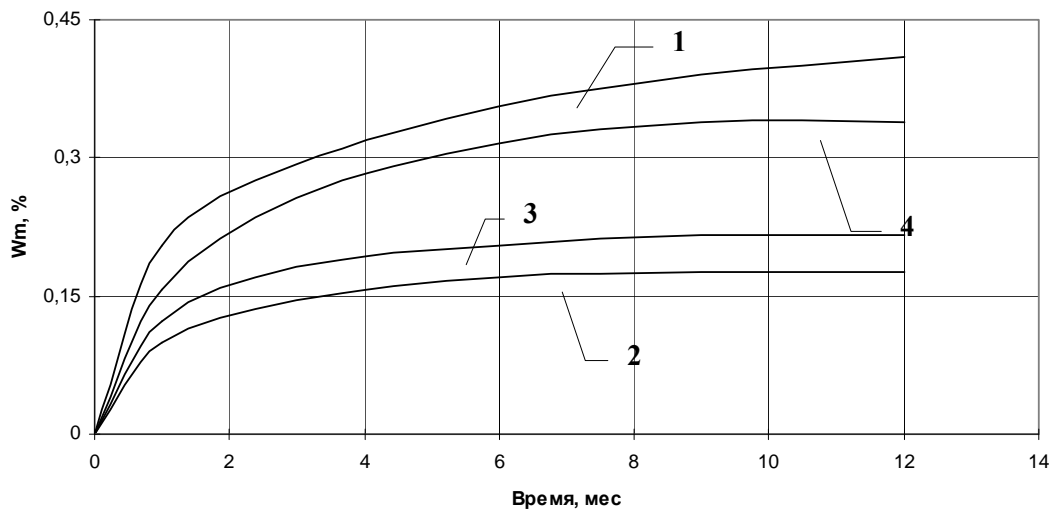


Рис. 3. Влияние добавки КО-916К на водопоглощение ЭК, П/Н=1/18:
1 – без добавки; 2 – 0,5 %; 3 – 1,0 %; 4 – 3,0 %

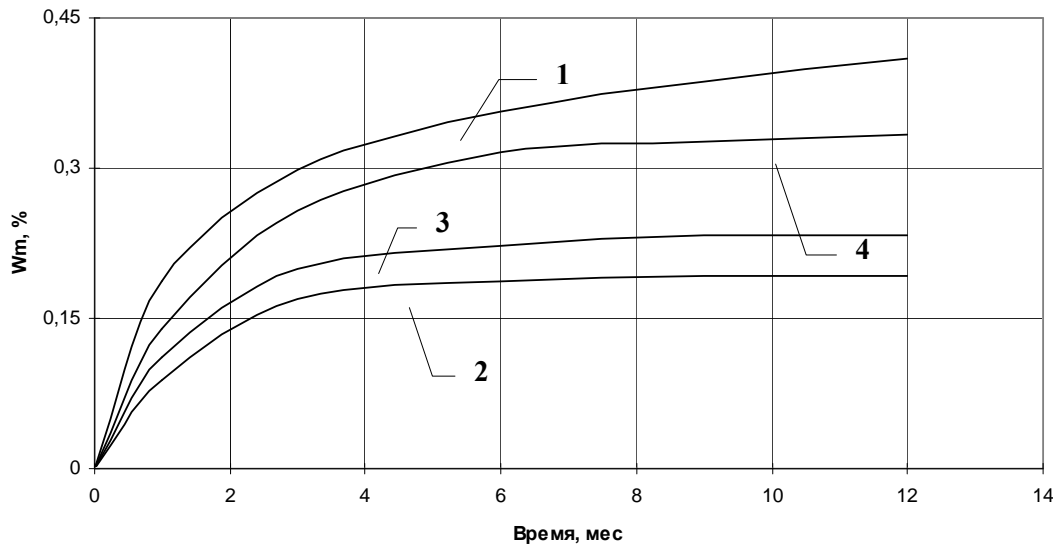


Рис. 4. Влияние добавки КО-919Т на водопоглощение ЭК, П/Н=1/18:
1 – без добавки; 2 – 0,5 %; 3 – 1,0 %; 4 – 3,0 %

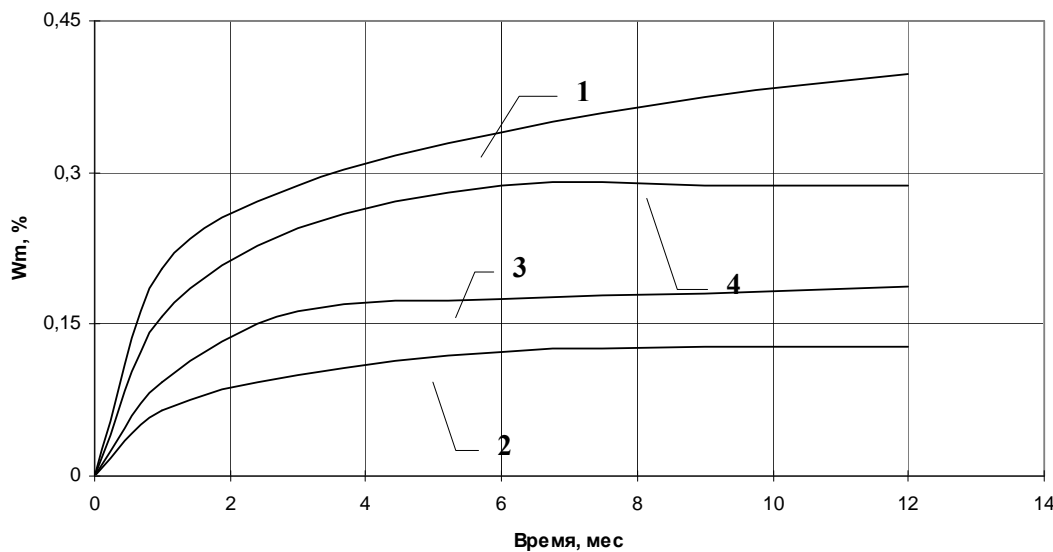


Рис. 5. Влияние добавки КО-922 на водопоглощение ЭК, П/Н=1/18:
1 – без добавки; 2 – 0,5 %; 3 – 1,0 %; 4 – 3,0 %

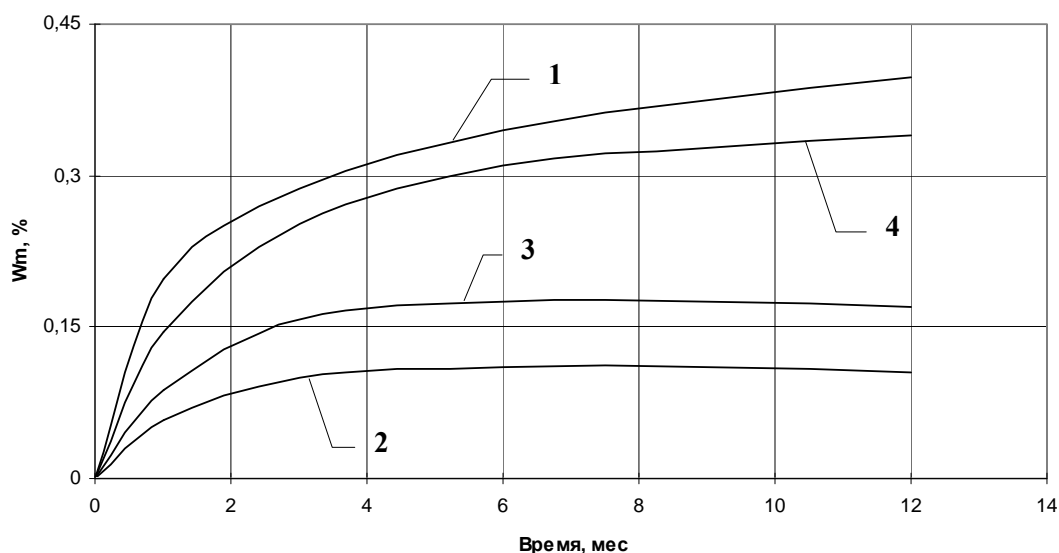


Рис. 6. Влияние добавки ГЖ 136-41 на водопоглощение ЭК, П/Н=1/18:
1 – без добавки; 2 – 0,01 %; 3 – 0,05 %; 4 – 0,1 %

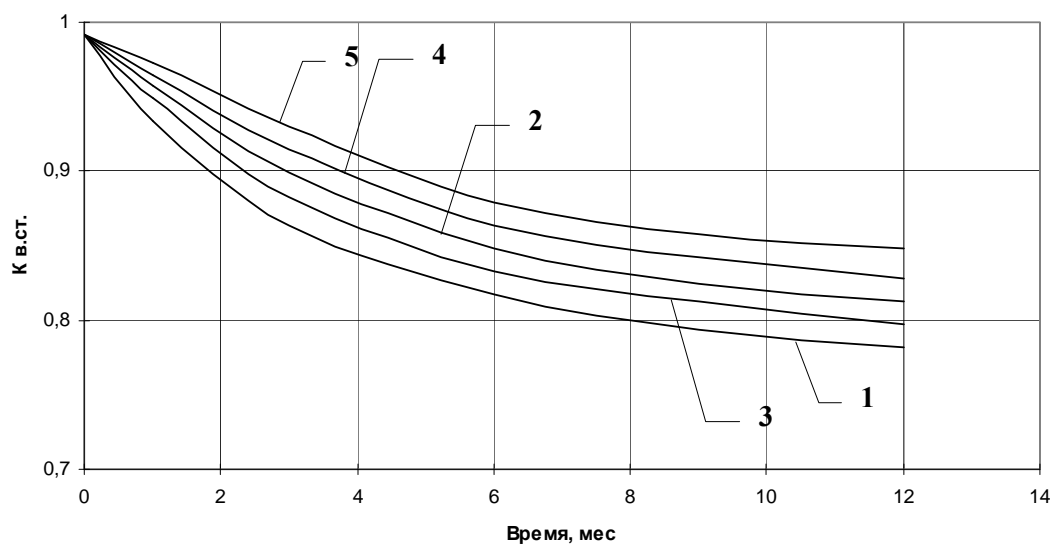


Рис. 7. Водостойкость ЭК с оптимальными добавками КОЖ, П/Н=1 /18:
1 – без добавки; 2 – 0,5 % КО-916К; 3 – 0,5 % КО-919Т; 4 – 0,5 % КО-922;
5 – 0,01 % ГЖ 136-41

При увеличении концентрации КОЖ до 1,0-3,0 % (для КО) и 0,05-0,1 % (для ГЖ 136-41) отмечается худший гидрофобизирующий эффект вследствие ослабления взаимодействия на границе «эпоксидная смола – КОЖ – наполнитель». Прочность адгезионного взаимодействия уменьшается с увеличением концентраций модификаторов. Система становится микрогетерогенной: на поверхности наполнителя адсорбируются непрочные, рыхлые подслои из молекул КОЖ, ухудшающие взаимодействие связующего с наполнителем. Кроме того, водостойкость данного подслоя относительно невелика, что также неблагоприятно сказывается на водопоглощении композитов.

Водостойкость пресс-композитов с добавками КОЖ представлена на рис. 7. Наиболее эффективными являются добавки ГЖ-136-41 и КО-922, для которых $K_{в.ст.}$ через 12 месяцев выдержки в воде составили соответственно 0,84; 0,83. Большая эффективность этих добавок объясняется их влиянием на межмолекулярные взаимодействия и конформацию цепей эпоксидного олигомера. Это способствует эффективному

снижению усадки и внутренних напряжений композитов, что благоприятно сказывается на процессах структурообразования и эксплуатационных показателях ЭКМ.

Выводы

1. Установлено, что водостойкость литевых ЭК на отходах производства стекла марки ТФ-110 по сравнению с кварцевым песком выше.
2. Водостойкость ЭКМ значительно повышается за счет прессования жестких полимеррастворных смесей.
3. Установлена оптимальная степень наполнения водостойких пресс-композитов с наполнителем ТФ-110.
4. Водостойкость ЭКМ может быть повышена за счет модификации связующего и наполнителя оптимальными концентрациями добавок КОЖ.
5. Определены оптимальные виды и концентрации добавок КОЖ.

Список литературы

1. Ерофеев, В.Т. Разработка и исследование цементных и полимерных композитов для ремонта мостового сооружения / В.Т. Ерофеев, Б.А. Бондарев, В.М. Круглов, М.А. Гаврилов // Транспортные сооружения. – 2021. – Т.8, №2.
2. Гаврилов, М.А. Прочностные свойства модифицированных эпоксидных композитов / М.А. Гаврилов, Д.М. Гаврилова // Вестник ПГУАС: строительство, наука и образование. – 2022. – №4 (41). – С. 188–196.
3. Данилов, А.М. Разработка строительных материалов как сложных систем / А.М. Данилов, И.А. Гарькина // Региональная архитектура и строительство. – 2016. – №2. – С. 50–54.
4. Данилов, А.М. Структура наполненного эпоксидного связующего. Оптическая и сканирующая зондовая микроскопия / А.М. Данилов, В.П. Селяев, А.Н. Круглова // Региональная архитектура и строительство. – 2014. – №1. – С. 41–52.
5. Гаврилов, Г.Н. Технология изготовления композиционных материалов методами литья, проката и прессования / Г.Н. Гаврилов, В.А. Хренов, В.Т. Ерофеев, М.А. Гаврилов. – Саранск, 2020. – 232 с.

References

1. Erofeev, V.T. Research and Evaluation of Cement and Polymer Based Compositions for Bridge Structural Maintenance / V.T. Erofeev, B.A. Bondarev, V.M. Kruglov, M.A. Gavrilo / Transport Infrastructure. – 2021. – Vol. 8, Issue 2.
2. Gavrilo, M.A. Rigidity Properties of Modified Epoxy Composites / M.A. Gavrilo, D.M. Gavrilo / PGUAS Herald: Construction, Science and Education. – 2022. – Issue 4 (41). – P.188–196.
3. Danilov, A.M. Researching The Construction Materials As Complex Sytems / A.M. Danilov, I.A. Garkina // Regional Architecture and Engineering. – 2016. – Vol. 2. – P. 50–54.
4. Danilov, A.M. Structure of Filled Epoxy Binder. Optical and Scanning Probe Microscopy / A.M. Danilov, V.P. Selyaev, A.N. Kruglova // Regional Architecture and Engineering. – 2014. – Vol. 1. – P. 41–52.
5. Gavrilo, G.N. Technology of Production of Composite Materials by Means of Molding, Rolling and Pressing / G.N. Gavrilo, V.A. Hrenov, V.T. Erofeev, M.A. Gavrilo. – Saransk, 2020. – 232 p.

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

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

Рябов Дмитрий Александрович,
аспирант
E-mail: dima.rjabov@mail.ru

Янгуразов Юсеф Равилевич,
аспирант
E-mail: yusef.yangurazov@inbox.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

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

Ryabov Dmitry Aleksandrovich,
Postgraduate student
E-mail: dima.rjabov@mail.ru

Yangurazov Yusef Ravilevich,
Postgraduate student
E-mail: yusef.yangurazov@inbox.ru

ВАРИАНТНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ФУНДАМЕНТОВ

В.С. Глухов, Д.А. Рябов, Ю.Р. Янгуразов

Приведены результаты разработки фундамента 16-этажного жилого дома. Рассмотрены варианты плитного и свайно-плитного фундаментов, призматические сваи принудительного погружения и фундамент из свай в пробитых скважинах с уширением. На основании расчетов деформаций грунтового основания и технико-экономического сравнения вариантов в проекте принят свайно-плитный фундамент с устройством свай вдавливания. Распределение нагрузки от здания на плиту и сваи ведется из расчета осадки фундамента. По результатам статических испытаний принятых свай на 30 % уменьшено количество свай, что позволило дополнительно сократить сметную стоимость фундаментов.

Ключевые слова: свайный фундамент, сваи вдавливания, свайно-плитный фундамент, сваи в пробитых скважинах

VARIANT DESIGN OF FOUNDATIONS

V.S. Glukhov, D.A. Ryabov, Yu.R. Yangurazov

The results of the development of the foundation of a 16-storey residential building are presented. The variants of slab and pile-slab foundations, prismatic piles of forced immersion and a foundation of piles in punched wells with broadening are considered. The adoption of a pile-slab foundation with an indentation pile device in the project is justified by the results of calculations of deformations of the soil base and a technical and economic comparison of options. The load distribution from the building to the slab and piles is based on the calculation of the foundation precipitation. According to the results of static tests of the accepted piles, the number of piles was reduced by 30%, which further reduced the estimated cost of foundations.

Keywords: pile foundation, indentation piles, pile-plate foundation, piles in punched wells

В последние годы сложилась тенденция к увеличению этажности при строительстве зданий. Застройщики стремятся достичь максимального использования площади, что, безусловно, сказывается на принимаемых решениях. Увеличение этажности зданий и интеграция разных по назначению помещений в единую конструкцию влечет за собой повышение нагрузок на фундаменты, которые должны отвечать требованиям надежности и быть экономически оправданными. Поэтому весьма актуальным является выбор фундамента, который будет конструктивно надежным и экономически

выгодным. В рамках нашего исследования решалась задача выбора фундамента для жилого 16-этажного дома в г. Саранске.

Рассматриваемое здание имеет несущие стены, выполненные из керамического кирпича, со сборными из пустотных плит дисками перекрытия. При массовом использовании в современных условиях монолитного железобетона в качестве основного материала строительства кирпич для многих ассоциируется с экологичностью конструкций. Высота здания порядка 51,0 м, размеры в плане $17,5 \times 42,8$ м. Площадь по наружному контуру здания составляет $815,0 \text{ м}^2$. Конструктивная схема представляет собой продольно расположенные несущие стены, на которые опираются диски перекрытий. Проектируемое здание относится ко второму (нормальному) уровню ответственности. Общая расчетная нагрузка на фундаменты с учетом веса последних посчитана в программном комплексе ПК ЛИРА-САПР и составляет порядка $N_1 = 320\,000,0 \text{ кН}$. Площадка строительства сложена глинистыми грунтами. Физико-механические характеристики слоев грунта приведены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

Физико-механические характеристики грунтов

ИГЭ	Наименование грунта	h , м	γ , кН/м ³	I_p	I_L	φ , град	C , кПа	E , МПа
ИГЭ-0	Насыпной грунт	0,6	15,0	-	-	-	-	-
ИГЭ-1	Глина тугопластичная	4,8	19,2	19	0,33	21	34	14,0
ИГЭ-2	Суглинок тугопластичный	4,0	18,6	9	0,38	22	13	15,0
ИГЭ-3	Глина полутвердая	5,1	18,5	22	0,14	11	92	24,0
ИГЭ-4	Суглинок мягкопластичный	4,4	18,6	8	0,70	24	39	14,0

По результатам анализа напластования слоев основания и физико-механических характеристик грунта ведется выбор оптимального варианта фундамента. Предлагаются четыре варианта фундаментов: сплошная монолитная плита; свайный фундамент из свай в пробитых скважинах с уширением; свайный фундамент из призматических свай, выполненных по технологии вдавливания; свайно-плитный фундамент. Последний вариант отличается учетом работы как плиты по грунтовому основанию, так и свай. При этом сваи не должны оказывать взаимовлияния. Указанное достигается путем расположения свай с расстоянием между осями не менее $5d$ (d – диаметр сваи круглого сечения или сторона сваи квадратного сечения). В этом случае можно учитывать работу грунтового основания под плитным ростверком. Новым и малоизученным в последнем варианте является исследование деформаций грунтового основания с учетом характера распределения напряжений от давления под подошвой. Для экономического сравнения выполнено проектирование различных типов фундаментов.

Первый вариант – сплошная монолитная плита с глубиной заложения 3,0 м (рис. 1). Отметка обусловлена устройством технического подполья и толщиной плиты $h = 1,0$ м. Подошва плиты опирается на слой ИГЭ-1 – глина тугопластичная с модулем деформации $E = 14,0 \text{ МПа}$. Площадь плиты составляет $815,0 \text{ м}^2$. Для данного варианта определена осадка $S = 22,8 \text{ см}$, что превышает предельно допустимое значение $S_u = 18,0 \text{ см}$, принятое по приложению Г СП 22.13330.2016 «Основания зданий и сооружений», а сжимаемая толща грунта составляет 18,5 м. Следовательно, монолитная плита при данных условиях не может быть запроектирована в качестве фундамента рассматриваемого здания.

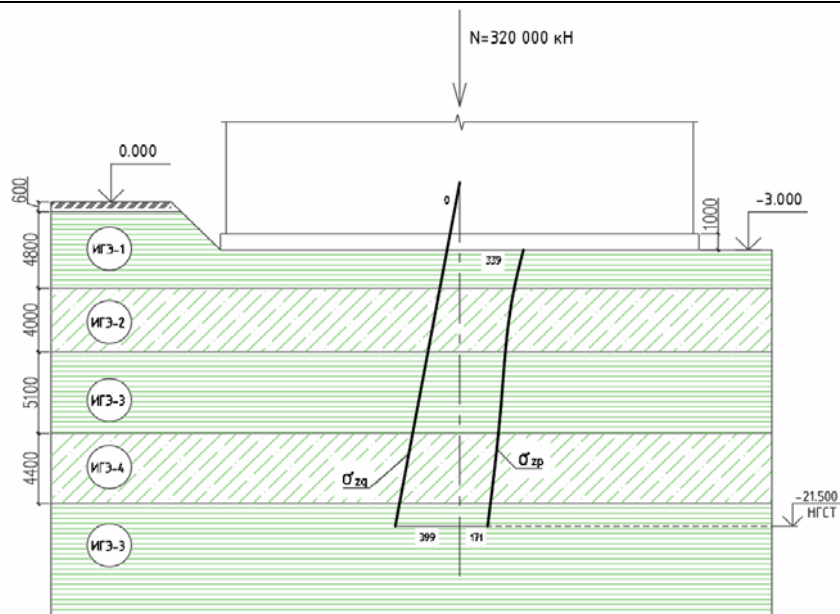


Рис. 1. Расчетная схема фундамента в виде плиты

Второй вариант – свайные фундаменты из свай в пробитых скважинах с уширением (СПСу). Диаметр свай $d = 530$ мм, длина $l = 8,0$ м (рис. 2). Уширение из щебня выполняется диаметром $D_y = 1,0$ м. Шаг свай $2,0$ м. Под зданием размещается 250 свай. В качестве ростверка принята сплошная монолитная плита толщиной $1,0$ м, отметка низа $-3,000$.

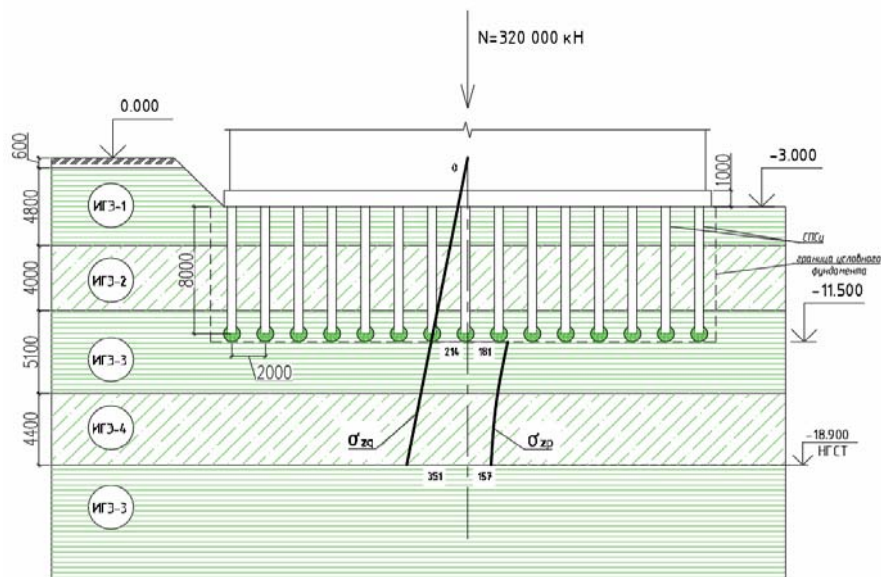


Рис. 2. Расчетная схема фундамента из свай, пробитых в скважинах с уширением

Несущая способность свай СПСу определяется с учетом сопротивления грунта под уширением, без учета сопротивление вдоль боковой поверхности. По графикам статического зондирования среднее значение сопротивления грунта под наконечником зонда $q_s = 2,76$ МПа. Тогда предельное сопротивление под уширением $R_s = \beta_1 q_s = 0,78 \cdot 2\,760,0 = 2\,153,0$ кПа. Площадь уширенного основания $A = 0,79\text{ м}^2$.

Несущая способность сваи составляет

$$F_d = \gamma_c \gamma_R R_s A = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 2\,153,0 \cdot 0,79 = 1\,700,0 \text{ кН.}$$

Расчётно-допускаемая нагрузка на сваю:

$$N_{рд} = \frac{1,15 \cdot 1700,0}{1,15 \cdot 1,25} = 1360,0 \text{ кН.}$$

Требуемое количество свай 250 шт. При этом на одну сваю приходится нагрузка: $N_1 = 320\,000,0/250 = 1\,280,0$ кН. Условие $N_1 = 1\,280,0 \text{ кН} \leq N_{рд} = 1\,360,0 \text{ кН}$ выполняется – надёжная работа свай обеспечена.

Расчет осадки свайного фундамента сводится к расчету осадки условного фундамента, ограниченного снизу плоскостью, проходящей через отметку низа уширения свай. При такой конструктивной схеме осадка составляет $S = 5,9$ см, что меньше вышеуказанного предельно допустимого значения $S_u = 18,0$ см. Сжимаемая толща грунта составляет 7,4 м. Свайный фундамент из свай СПСу может быть рассмотрен в качестве фундамента данного здания.

Третий вариант – свайные фундаменты из призматических свай С9-30, погружаемых по технологии вдавливания; состоит из свай сечением 300×300 мм и длиной 9,0 м. В качестве ростверка принята сплошная плита толщиной 1,0 м, отметка низа плиты равна $-3,000$ (рис. 3). Сваи расставлены по сетке $1,1 \times 1,1$ м.

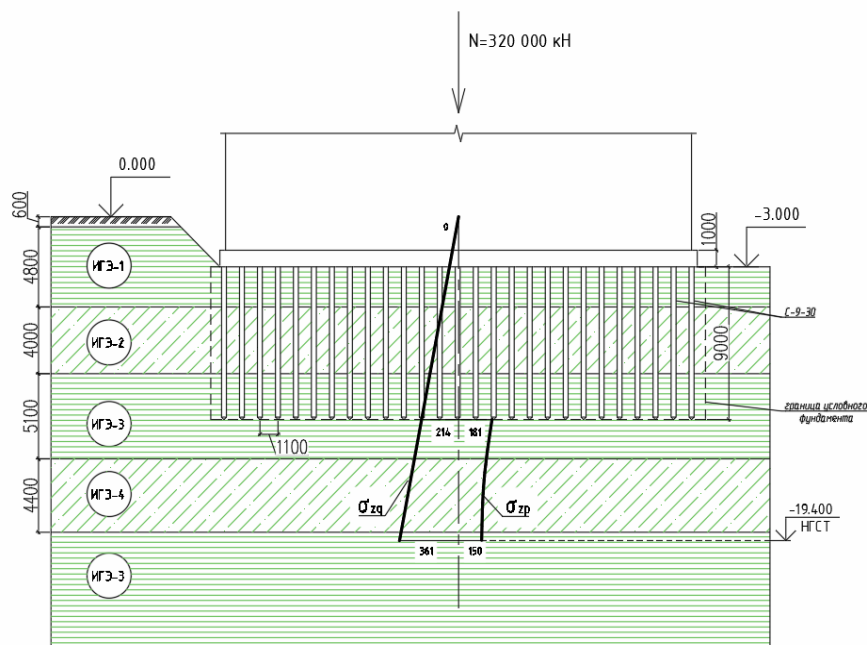


Рис. 3. Расчетная схема фундамента из призматических свай

Нагрузка от здания полностью передается на сваи. Определяем значение предельного сопротивления вдавливаемой сваи в точке зондирования F_d по формуле

$$F_d = R_s A + fhu,$$

где R_s – предельное сопротивление грунта под нижним концом сваи по данным зондирования, кПа; f – среднее значение предельного сопротивления грунта на боковой поверхности сваи по данным зондирования в рассматриваемой точке, кПа; h – глубина погружения сваи от поверхности грунта около сваи, м; u – периметр поперечного сечения ствола сваи, м.

Тогда несущая способность свай

$$F_d = 2\,100,0 \cdot 0,09 + 37,5 \cdot 9,0 \cdot 1,2 = 594,0 \text{ кН.}$$

Расчётно-допускаемая нагрузка на сваю

$$N_{рд} = \frac{1,15 \cdot 594,0}{1,15 \cdot 1,25} = 475,0 \text{ кН.}$$

Требуемое количество свай порядка 700 шт., и на одну сваю приходится нагрузка $N_1 = 320\,000,0/700 = 457,0$ кН. Указанная нагрузка не превышает расчетно-допустимую нагрузку на сваю: $N_1 = 457\text{кН} \leq N_{\text{рд}} = 475$ кН – надежная работа сваи обеспечена.

Расчет осадки свайного фундамента из свай С9-30 сводится к расчету осадки условного фундамента по СП 24.13330.2021 «Свайные фундаменты». При такой конструктивной схеме осадка составляет $S = 5,5$ см, что меньше допустимого значения $S_u = 18,0$ см. Сжимаемая толща грунта составляет 7,4 м. Свайный фундамент из призматических свай, погружаемых по технологии вдавливания, может быть рассмотрен в качестве фундамента данного здания.

Четвертый вариант – свайно-плитный фундамент из призматических свай С10-35 длиной 10,0 м, сечением 350×350 мм, плита толщиной 1,0 м (рис. 4). Данный вариант представляет принципиально новое решение с учетом грунтовых условий площадки строительства: часть нагрузок воспринимает грунтовое основание под плитным ростверком, а остальная часть нагрузок передается на сваи [1, 2].

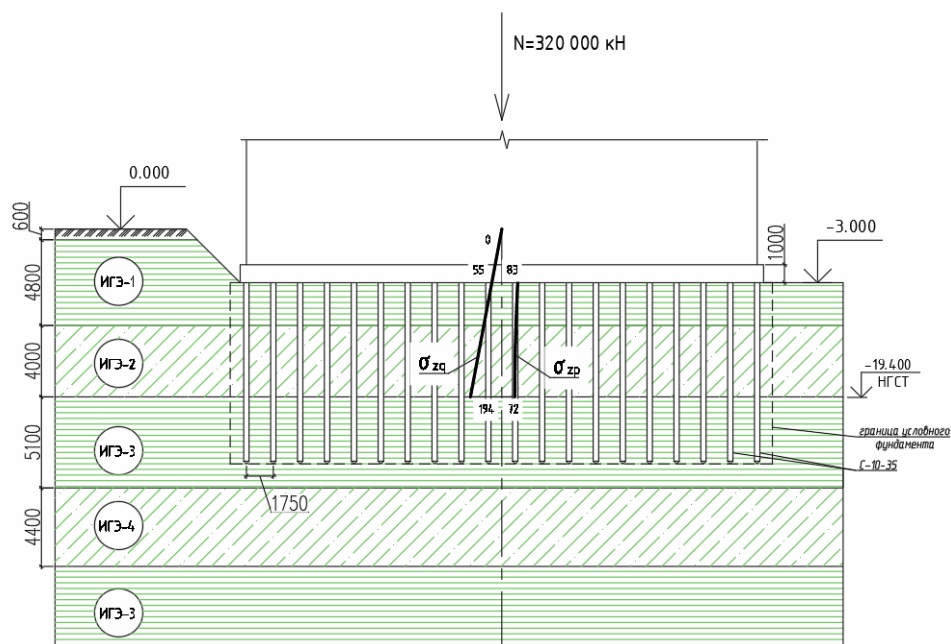


Рис. 4. Расчетная схема свайно-плитного фундамента

По результатам поверочных расчётов по оценке напряженно-деформируемого состояния грунтового основания соотношение распределения нагрузок принято из условия 35 % – плита и 65 % – сваи. Чтобы сваи не оказывали взаимного влияния друг на друга, расстояние между осями свай принимается не менее пяти диаметров свай (рис. 5). Следует обратить внимание, что нижняя граница сжимаемой толщи (НГСТ) под плитой не должна превышать длины свай, что исключает влияние фундаментной плиты на осадку свай.

При таком распределении нагрузок плитная часть фундамента воспринимает в нашем случае нагрузку $320\,000,0 \cdot 0,35 = 112\,000,0$ кН. Сваи воспринимают нагрузку $320\,000,0 \cdot 0,65 = 208\,000,0$ кН.

При расчете плитной части требуется проверить условие, что давление под подошвой плиты меньше расчетного сопротивления грунта $P \leq R$. Расчетное сопротивление грунта основания R определяется по формуле (5.7) СП 22.13330.2016. С учетом заглубления плиты и характеристик грунтового основания расчетное сопротивление составляет $R = 640,0$ кПа. С учетом площади плитного ростверка $A = 815,0$ м² давление под подошвой плиты $P = 112\,000/815 = 137,4$ кПа. Следовательно, $P = 137,4$ кПа < $R = 640,0$ кПа – условие выполняется. В таком случае расчет осадки можно вести по схеме линейно-деформируемого полупространства, осадку определяют методом послойного суммирования. При указанном давлении $P = 137,4$ кПа расчетная осадка составляет $S = 3,0$ см, что значительно меньше допустимого значения

$S_u = 18,0$ см. При этом сжимаемая толща грунта составляет 6,4 м при длине свай 10,0 м.

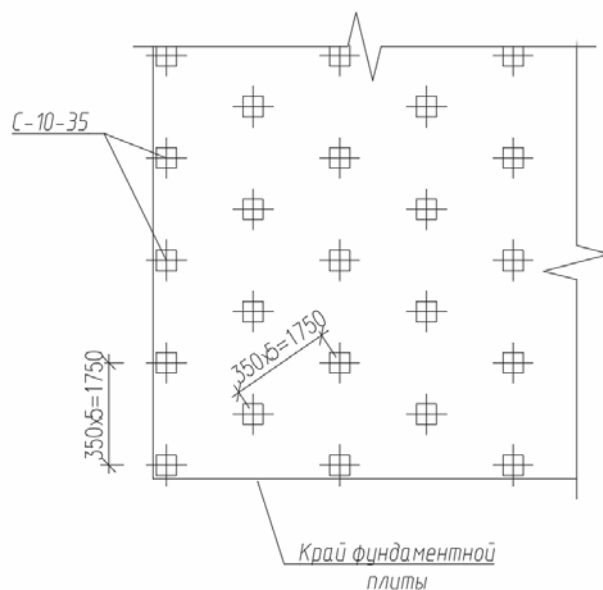


Рис. 5. План свай в составе свайно-плитного фундамента

В пределах площади плиты размещается 330 свай, которые воспринимают нагрузку 208 000,0 кН. Тогда на сваю приходится нагрузка 630,0 кН. Расчет несущей способности принятых свай С10-35 выполняется по вышеприведенным формулам:

$$F_d = 2\,200,0 \cdot 0,12 + 38,1 \cdot 10,0 \cdot 1,4 = 797,4 \text{ кН.}$$

Расчетно-допускаемая нагрузка на сваю:

$$N_{рд} = \frac{1,15 \cdot 797,4}{1,15 \cdot 1,25} = 638,0 \text{ кН.}$$

$N_I = 630,0 \text{ кН} \leq N_{рд} = 638,0 \text{ кН}$ – надежная работа сваи обеспечена.

Расчетная осадка одиночной сваи составляет 0,7 см, что меньше допустимого значения $S_u = 18,0$ см.

Выбор оптимального варианта для объекта в сочетании с инженерно-геологическими условиями производится на основе технико-экономического сравнения. Объем бетона, требуемый на устройство свай, приведен в табл. 2. Объем ростверка (плиты) не учитывается, т.к. остается неизменной величиной во всех вариантах.

Т а б л и ц а 2

Объем свай

Свая	Поперечное сечение, мм	Длина сваи, м	Объем сваи, м ³
СПС8-0,53/1,0	Ø530	8,0	2,38
С9-30	300 × 300	9,0	0,81
С10-35	350 × 350	10,0	1,23

Сравнение сметной стоимости устройства свай приведено в табл. 3.

По данным табл. 3 свайно-плитные фундаменты являются самыми экономически выгодными. Требуется меньше на 189,0 м³ материала свай по сравнению с вариантом СПСу и на 161,0 м³ – по сравнению с призматическими сваями. Как следует из таблицы 3, сметная стоимость вариантов фундаментов отличается в диапазоне 2 970–3 500 тыс. руб. При этом в варианте свайно-плитного фундамента расчетная нагрузка на сваи $N_I \approx N_{рд}$, а расчетная осадка плиты $S = 3,0$ см, что значительно меньше $S_u = 18,0$ см. Указанное позволяет увеличить нагрузку на грунтовое основание под подошвой плиты из ограничения сжимающей толщи (НГСТ) отметкой острия свай.

Технико-экономическое сравнение вариантов фундаментов

Тип фундамента	Объем свай, м ³	Кол-во свай, шт.	Общий объем материала, м ³	Сметная стоимость, тыс. руб.
Сваи в пробитых скважинах с уширением, объединенные монолитным ростверком	2,38	250	595,0	11 900,0
Призматические сваи вдавливания, объединенные монолитным ростверком	0,81	700	567,0	12 475,0
Свайно-плитный фундамент из свай вдавливания	1,23	330	406,0	8 930,0

В целом вариантное проектирование фундаментов позволяет существенно оптимизировать технические решения с безусловным обеспечением требований нормативных документов по надежной работе фундаментов.

Для подтверждения расчетов проведена серия статических испытаний свай С10-35 вдавливающей нагрузкой. Построены графики зависимости осадки от нагрузки для двух свай (с наибольшей и наименьшей несущими способностями) (рис. 6). Несущая способность свай составляет 90,0–95,0 тс, что выше полученной по результатам статического зондирования, и позволяет уменьшить количество применяемых свай на 30 %, следовательно, снизится и конечная стоимость фундамента.



Рис. 6. Графики зависимости осадки от нагрузки свай с краевыми значениями несущей способности

Практическое применение свайно-плитных фундаментов в значительной степени сдерживается несовершенной на сегодня нормативной согласно СП 24.13330.2021 методикой расчетов, что предполагает дальнейшие исследования.

Список литературы

1. Глухов, В.С. Свайно-плитные фундаменты на комбинированном основании / В.С. Глухов, О.В. Хрянина, М.В. Глухова // Вестник Пермского национального

исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. – 2014. – № 2. – С. 229–237.

2. Глухов, В.С. Обоснование применения свайно-плитного фундамента высотного здания / В.С. Глухов, Д.А. Рябов // Вестник ПГУАС: строительство, наука и образование. – 2023. – № 1(16). – С. 30–35.

References

1. Glukhov, V.S. Pile-slab foundations on a combined foundation / V.S. Glukhov, O.V. Khryanina, M.V. Glukhova // Bulletin of Perm National Research Polytechnic University. Construction and architecture. – 2014. – No. 2. – P. 229–237.

2. Glukhov, V.S. Justification of the use of pile-slab foundation of a high-rise building / V.S. Glukhov, D.A. Ryabov // Bulletin of PGUAS: construction, science and education. – 2023. – № 1(16). – P. 30–35.

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

Ерошкина Надежда Александровна,

кандидат технических наук, доцент
кафедры «Технологии строительных
материалов и деревообработки»

Коровкин Марк Олимпиевич,

кандидат технических наук, доцент
кафедры «Технологии строительных
материалов и деревообработки»

E-mail: m_korovkin@mai.ru

Саденко Сергей Михайлович,

кандидат технических наук, профессор
кафедры «Технологии строительных
материалов и деревообработки»

Харнаев Андрей Вячеславович,

аспирант кафедры «Технологии строительных
материалов и деревообработки»

*Penza State University of Architecture
and Construction*

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

Eroshkina Nadezhda Aleksandrovna,

Candidate of Sciences, Associate Professor
of the department «Building Materials and
Woodworking Technology»

Korovkin Mark Olympievich,

Candidate of Sciences, Associate Professor
of the department «Building Materials and
Woodworking Technology»

E-mail: m_korovkin@mai.ru

Sadenko Sergey Mikhailovich,

Candidate of Science, Professor of the
department «Technology of Building Materials
and Wood Processing»

Kharnaev Andrey Vyacheslavovich,

Graduate student of the department «Technology
of Building Materials and Wood Processing»

ВЛИЯНИЕ СОСТАВА ГЕОПОЛИМЕРНОГО ВЯЖУЩЕГО НА СРОКИ СХВАТЫВАНИЯ, КИНЕТИКУ ТЕПЛО ВЫДЕЛЕНИЯ И ВСПУЧИВАНИЕ ЯЧЕИСТОГО БЕТОНА

Н.А. Ерошкина, М.О. Коровкин, С.М. Саденко, А.В. Харнаев

Приведены результаты исследования влияния параметров состава геополлимерного ячеистого газобетона на его технологические свойства. Установлено, что добавка извести в количестве 0,5-3 % способствует сокращению сроков схватывания. Полученные данные по кинетике тепловыделения и газовыделения могут быть использованы для оптимизации технологии ячеистого геополлимерного бетона.

Ключевые слова: геополлимерное вяжущее, ячеистый бетон, сроки схватывания, кинетика тепловыделения, кинетика газовыделения, вспучивание, плотность

EFFECT OF GEOPOLYMER BINDER COMPOSITION ON SETTING TIME, HEAT RELEASE KINETICS AND FOAMING OF CELLULAR CONCRETE

N.A. Eroshkina, M.O. Korovkin, S.M. Sadenko, A.V. Kharnaev

The results of a study of the composition parameters of geopolymer cellular aerated concrete for its technological properties are presented. It has been established that the addition of lime in an amount of 0.5-3 % can be used to reduce the setting time. The obtained data on the kinetics of heat and gas release can be used to optimize the technology of cellular geopolymer concrete.

Keywords: geopolymer binder, cellular concrete, setting time, heat release kinetics, gas release kinetics, foaming, density

Геополлимерные вяжущие рассматриваются сегодня в качестве перспективной ресурсосберегающей альтернативы портландцементу [1]. Промышленное производство этих вяжущих позволит снизить выбросы углекислого газа в атмосферу и

утилизировать в качестве сырья многотоннажные промышленные отходы – шлаки, золы сжигания твердого топлива, отходы горнодобывающей промышленности [2, 3]. Бетоны, изготовленные с применением геополимерных вяжущих, не только более экологичны; они характеризуются более высокими, чем цементные бетоны, показателями, такими, как коррозионная стойкость [1] и стойкость к ударным воздействиям. Технология геополимерных материалов эффективна для утилизации бетонного лома в качестве заполнителя [4].

Ячеистые бетоны – одно из активно развивающихся направлений использования геополимерных вяжущих [5, 6]. Наиболее перспективным сырьем для этих вяжущих является зола-унос [1, 7], объемы производства которой на российских ТЭС составляют десятки млн тонн, а использование не превышает 4-5 % [8]. Кроме золы в состав геополимерных вяжущих для повышения их прочности вводится шлак [1], а для снижения плотности ячеистых бетонов в их рецептуру могут вводиться диатомит, опока и другие кремнистые породы [3, 9]. Пористая структура геополимерного бетона формируется за счет использования пенообразователей [6] или газообразователей [3, 9].

Геополимерные вяжущие на основе золы-уноса с низким содержанием оксида кальция отличаются медленным твердением и схватыванием [1], что сдерживает их применение в строительстве. При этом имеются данные [3], что при использовании в качестве активатора твердения жидкого стекла вяжущее с доменным шлаком и золой-уносом быстро теряет удобоукладываемость, если в состав ячеистого бетона вводится известь, которая необходима для взаимодействия с алюминиевой пудрой для обеспечения газовыделения и вспучивания бетонной смеси.

В научной литературе сведения о свойствах геополимерного вяжущего на основе опоки и шлака практически отсутствуют. Для получения данных о свойствах таких вяжущих были проведены исследования влияния на их свойства добавки извести, которая вводится в смесь совместно с алюминиевой пудрой для улучшения вспучивания смеси. Кроме того, были исследованы кинетики тепловыделения исследуемого вяжущего, а также газовыделения и вспучивания смеси.

На первом этапе исследовали влияние добавки извести при ее дозировке от 0,5 до 3,0 % на сроки схватывания геополимерного теста при содержании шлака в составе вяжущего в количестве 30 и 40 %.

В исследованиях применялись опока, измельченная до дисперсности 670 м²/кг, гранит Павловского месторождения с дисперсностью 360 м²/кг, доменный гранулированный шлак ОАО «Новолипецкий металлургический комбинат» с дисперсностью 380 м²/кг.

В качестве комплексного активатора твердения использовался раствор низко-модульного жидкого стекла с $M_c=1,5$, приготовленный на основе натриевого жидкого стекла и гидроксида натрия.

Полученные результаты (рис. 1) показывают, что добавка извести вызывает сокращение продолжительности процесса схватывания: при увеличении дозировки извести с 0,5 до 3 % время начала схватывания уменьшается с 2 часов до 20-30 мин. Повышение расхода добавки шлака приводит к сокращению живучести смеси на 10-30 минут, в зависимости от расхода извести.

В процессе геополимеризации вяжущего происходит выделение тепла [1]. Для ячеистого газобетона тепловыделение вяжущего на начальных этапах его гидратации имеет большое значение. Это связано с тем, что пористая структура материала увеличивает риск саморазогрева смеси и потери ее пластических свойств до окончания процесса газовыделения.

Для выполнения исследований кинетики тепловыделения приготавливалось вяжущее на основе опоки и шлака. В экспериментах 20, 30 и 40 % объема опоки замещалось доменным гранулированным шлаком.

Исследования проводились в калориметре, в котором для теплоизоляции использовался пенополистирол. В калориметр помещалось 150 г исследуемого геополимерного теста в пластиковом стаканчике. Для измерения температуры использовался электронный термометр с ценой деления 0,1°С.

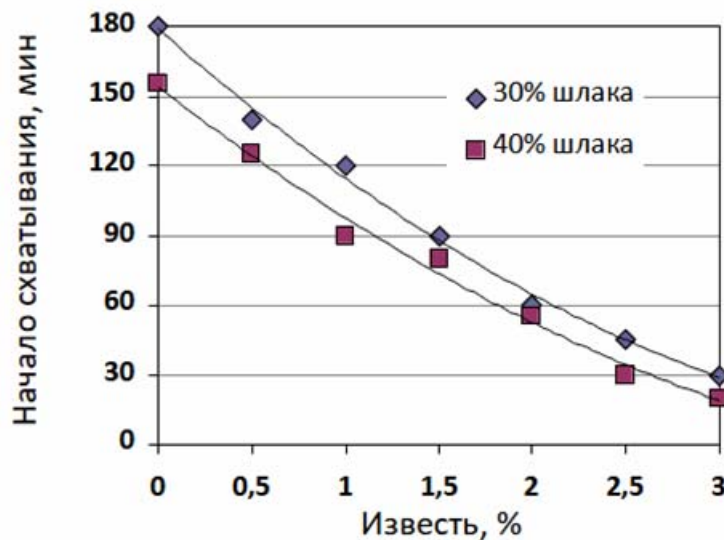


Рис. 1. Влияние дозировки извести на время начала схватывания геополимерного вяжущего на основе опоки при различном содержании в нем шлака

Температура смеси измерялась каждые 2-3 минуты. По полученным данным строилась зависимость изменения температуры смеси от времени (рис. 2).

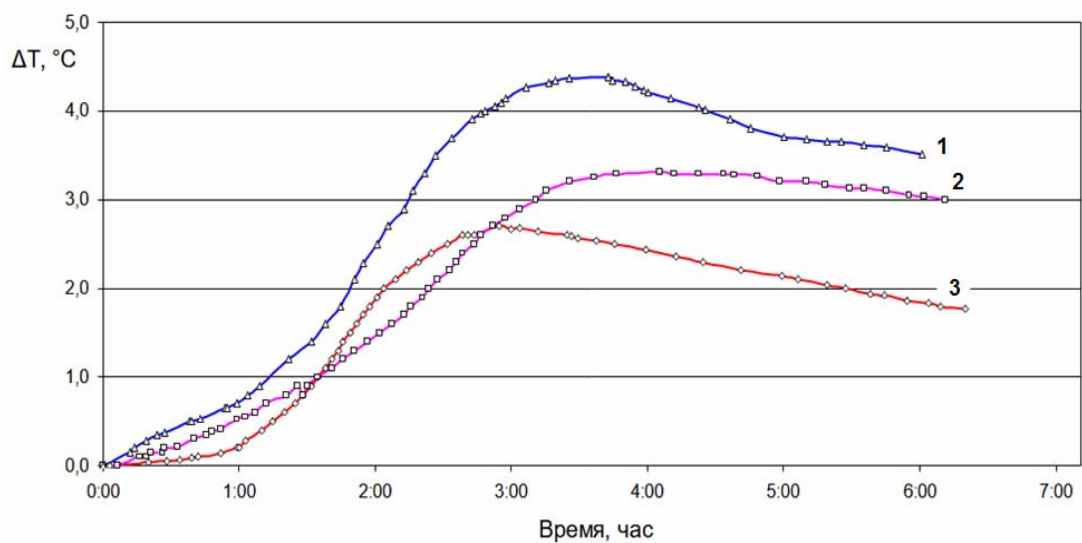


Рис. 2. Кинетика изменения температуры геополимерного вяжущего на основе опоки и шлака. Обозначение объемной доли шлака в вяжущем: 1 – 40 %; 2 – 30 %; 3 – 20 %

В процессе схватывания вяжущего прирост температуры составляет 2,7-4,4 °C, при этом оно разогревается до 26-28 °C. На графиках (см. рис. 2) можно выделить 3 стадии кинетики тепловыделения.

Первая стадия продолжается от 1 до 1,5 часа, при этом прирост температуры составляет 0,3-0,8 °C. Интенсивность разогрева геополимерного теста и продолжительность этой стадии возрастают с увеличением доли шлака в вяжущем. Первая стадия характеризуется процессами растворения сырьевых компонентов в щелочесодержащем растворе и образования мономеров Si и Al [1].

Вторая стадия, которая начинается через 1-3 часа, характеризуется интенсивным подъемом температуры. Она совпадает с процессами полимеризации и конденсации мономеров, в результате которых геополимерное тесто схватывается.

На третьей стадии, которая начинается через 2,5-4 часа после затворения смеси, происходит снижение температуры от 1,8 до 3,5 °С из-за того, что тепловыделение вяжущего ниже потерь тепла из калориметра. Эта стадия по времени характерна для изменения структуры полимеров [1].

Методика по определению тепловыделения вяжущего может быть использована для изучения кинетики ранних стадий структурообразования и оптимизации состава двухкомпонентного геополимерного вяжущего.

Как известно, кинетика и объем газовыделения, а также способность смеси удерживать газовую фазу являются определяющими факторами для создания пористой структуры ячеистого материала. При подборе состава газобетона необходимо получить геополимерную смесь, имеющую, с одной стороны, достаточную удобоукладываемость и способность увеличиваться в объеме под действием выделяющегося газа. С другой стороны, смесь должна иметь необходимую структурную вязкость для удержания газовой фазы, что обеспечивает стабильность образующейся поровой структуры.

Для исследования процесса газовыделения и вспучивания смеси была использована установка, схема которой приведена на рис. 3.

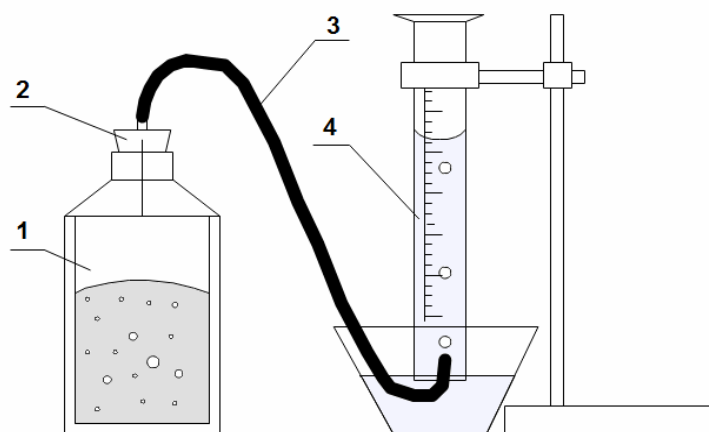


Рис. 3. Схема лабораторной установки:
1 – стеклянный сосуд; 2 – резиновая пробка; 3 – газопроводная трубка;
4 – мерный цилиндр

Газобетонную массу с расчетным количеством газообразователя ПАП-1 заливали в стеклянный сосуд 1, плотно закрывали пробкой 2, к которой присоединена газоотводная трубка 3. По мере вспучивания массы воздух вытесняется в градуированный цилиндр 4, предварительно заполненный водой. В эксперименте определяли изменение объема выделившегося газа, а также величину прироста объема газобетонной смеси по изменению ее высоты.

По полученным данным были построены графики зависимости от времени (рис. 4):
– увеличения объема газовой фазы в измерительной системе K_B ;
– коэффициента полезного использования выделившегося газа $K_{\Pi} = V_{\Pi} / V_B$, где V_{Π} и V_B – увеличение объема смеси и объем выделившегося в результате реакции газа, соответственно.

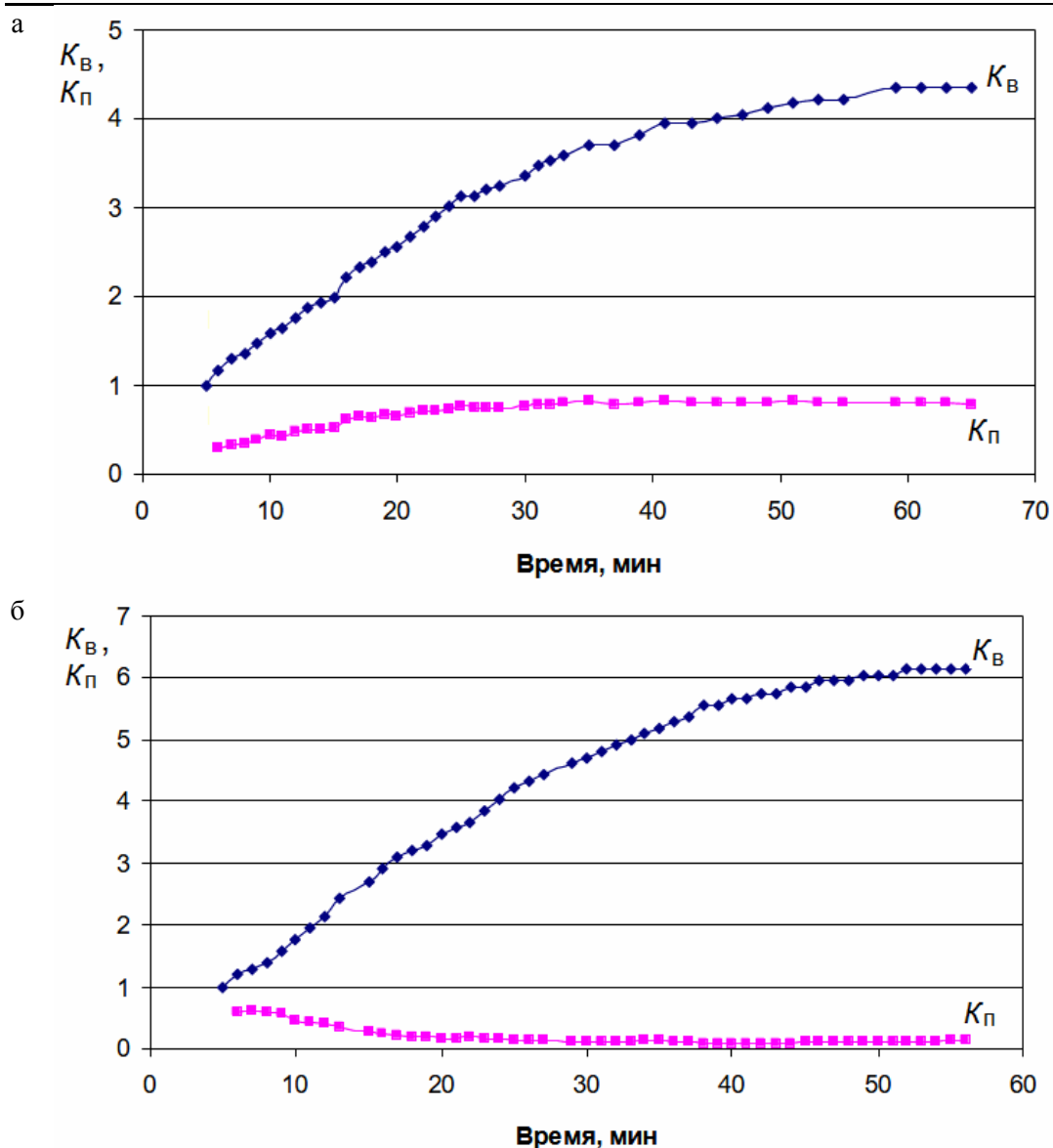


Рис. 4. Зависимость коэффициента вспучивания K_B и коэффициента использования выделившегося газа K_P от времени для ячеистого бетона с плотностью 460 (а) и 344 (б) кг/м³

Анализ графиков на рис. 4 показывает, что при снижении плотности газобетонной смеси с 460 до 344 кг/м³ отмечается значительное уменьшение газодерживающей способности смеси – коэффициент полезного использования выделившегося газа K_P снижается с 0,8 до 0,15. Такое изменение газодерживающей способности должно привести к тому, что почти все поры в полученном газобетоне будут сообщающимися. Данные исследований процесса вспучивания смеси позволяют сделать предположительный вывод о нецелесообразности производства на основе исследованных геополимерных вяжущих ячеистых бетонов с плотностью менее 400 кг/м³. В то же время нельзя исключить возможность получения более легкого газобетона за счет оптимизации его состава и процедуры вспучивания.

Выводы

Исследованиями установлено, что введение в состав геополимерного вяжущего извести в количестве 0,5-3 % сокращает время схватывания вяжущего. Эта добавка может быть рекомендована для регулирования процесса структурообразования на начальном этапе получения геополимерного газобетона. Введение извести в состав

вяжущего способно обеспечить начало схватывания смеси после окончания процесса газовой выделения.

Исследована кинетика тепловыделения геополимерного вяжущего в зависимости от соотношения в нем доменного шлака и опоки. Показано, что интенсивность тепловыделения может использоваться для изучения кинетики ранних стадий структурообразования геополимерного вяжущего.

Экспериментально показано, что получение газобетона с плотностью менее 400 кг/м³ на исследованном вяжущем нецелесообразно из-за низкой эффективности использования газообразователя.

Список литературы

1. Davidovits, J. Geopolymer Chemistry and Applications / J. Davidovits. – 4th edition. – Saint-Quentin, France, 2015. – 644 p.
2. Ерошкина, Н.А. Малоэнергоёмкие ресурсосберегающие технологии производства вяжущих для конструкционных бетонов / Н.А. Ерошкина, М.О. Коровкин, С.В. Аксенов // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 6. – С. 45.
3. Ерошкина, Н.А. Геополимерные строительные материалы на основе промышленных отходов: монография / Н.А. Ерошкина, М.О. Коровкин. – Пенза: ПГУАС, 2014. – 128 с.
4. Ерошкина, Н.А. Влияние материала крупного заполнителя на прочностные характеристики геополимерного бетона / Н.А. Ерошкина, М.О. Коровкин // Вестник ПГУАС: строительство, наука и образование. – 2021. – № 2(13). – С. 28–33.
5. Zhang, Z. Geopolymer foam concrete: An emerging material for sustainable construction / Z. Zhang, John L. Provis, A. Reid, H. Wang // Construction and Building Materials. – 2014. – Vol. 56. – P. 113–127.
6. Кожухова, Н.И. Опыт производства ячеистых бетонов на основе геополимерных вяжущих на основе геополимерных вяжущих / Н.И. Кожухова // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2023. – № 4. – С. 8–23.
7. Букина, Д.Ю. Щелочные вяжущие и бетоны на основе зол и шлаков ТЭС / Д.Ю. Букина, Н.М. Зайченко // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. – 2023. – № 1(159). – С. 89–97.
8. Применение зол и золошлаковых отходов в строительстве / Н.И. Ватин, Д.В. Петросов, А.И. Калачев, П. Лахтинен // Инженерно-строительный журнал. – 2011. – № 4(22). – С. 16–21.
9. Kaplan, G. Physico-mechanical, thermal insulation and resistance characteristics of diatomite and attapulgite based geopolymer foam concrete: Effect of different curing regimes / G. Kaplan, O. Yavuz Bayraktar, B. Bayrak, O. Celebi, B. Bodur, A. Oz, A.C. Aydin // Construction and Building Materials. – 2023. – Vol. 373. – 130850. – <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.130850>

References

1. Davidovits, J. Geopolymer Chemistry and Applications / J. Davidovits. – 4th edition. – Saint-Quentin, France, 2015. – 644 p.
2. Eroshkina, N.A. Low-energy resource-saving technologies for the production of binders for structural concrete / N.A. Eroshkina, M.O. Korovkin, S.V. Aksenov // Modern problems of science and education. – 2013. – № 6. – С. 45.
3. Eroshkina, N.A. Polymer building materials based on industrial waste: monograph / N.A. Eroshkina, M.O. Korovkin. – Penza: PGUAS, 2014. – 128 P.
4. Eroshkina, N.A. The influence of coarse aggregate material for strength characteristics of geopolymer concrete / N.A. Eroshkina, M.O. Korovkin // PGUAS Bulletin: construction, science and education. – 2021. – № 2(13). – P. 28–33.
5. Zhang, Z. Geopolymer foam concrete: An emerging material for sustainable construction / Z. Zhang, John L. Provis, A. Reid, H. Wang // Construction and Building Materials. – 2014. – Vol. 56. – P. 113–127.

-
6. Kozhuhova, N.I. Background of geopolymer-based cellular concrete production / N.I. Kozhuhova // Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. – 2023. – № 4. – P. 8–23.
 7. Bukina, D. Alkaline binders and concretes based on ashes and slags of TPP / D. Bukina, N. Zaichenko // Proceeding of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. – 2023. – № 1(159). – P. 89–97.
 8. Use of ashes and ash-and-slag wastes in construction / N.I. Vatin, A.I. Kalachev, P. Lahtinen // Magazine of Civil Engineering. – 2011. – № 4(22). – P. 16–21.
 9. Kaplan, G. Physico-mechanical, thermal insulation and resistance characteristics of diatomite and attapulgite based geopolymer foam concrete: Effect of different curing regimes / G. Kaplan, O. Yavuz Bayraktar, B. Bayrak, O. Celebi, B. Bodur, A. Oz, A.C. Aydin // Construction and Building Materials. – 2023. – Vol. 373. – 130850. – <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.130850>

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

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

Кузнецова Алёна Александровна,
студент
E-mail: cuznetsovaalena2712@yandex.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

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

Cuznetsova Alena Aleksandrovna,
Student
E-mail: cuznetsovaalena2712@yandex.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЦЕМЕНТНЫХ РАСТВОРОВ, МОДИФИЦИРОВАННЫХ ЭФИРОМ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ И ПОЛИМЕРНЫМИ ДОБАВКАМИ

К.Н. Махамбетова, А.А. Кузнецова

Представлены результаты исследования влияния комплекса добавок – полимерной добавки метилцеллюлозы МЦ-С, полиакриламида с молекулярной массой 2×10^6 , катионноактивного полиакриламида АК-636Р-КП 555 с молекулярной массой 1×10^7 и амфолитного полиакриламида АК-631 при дозировках 0,05–0,1 % от массы сухих смесей – на подвижность, водоудерживающую способность растворной смеси и прочность при сжатии затвердевших растворов. Установлено, что из всех вариантов комбинаций метилцеллюлозы с различными полиакриламидами наиболее оптимальным является состав, включающий 0,05 % МЦ-С и 0,05 % катионноактивного полиакриламида. В данном случае отсутствовала липкость раствора, а водоудерживающая способность была на уровне смеси с чистым эфиром целлюлозы, как и прочностные показатели.

Ключевые слова: метилцеллюлоза, полимерные добавки, цементно-песчаный раствор, подвижность, водоудерживающая способность, прочность при сжатии

RESEARCH OF TECHNOLOGICAL PROPERTIES OF CEMENT MORTARS MODIFIED WITH CELLULOSE ETHER AND POLYMER ADDITIVES

K.N. Makhambetova, A.A. Cuznetsova

The article investigated the effect of a complex of additives – the polymer additive methylcellulose MC-S, polyacrylamide with a molecular weight of 2×10^6 , cationic polyacrylamide AK-636R-KP 555 with a molecular weight of 1×10^7 and ampholytic polyacrylamide AK-631 at dosages of 0.05-0.1 % by weight of dry mixtures on mobility, water-holding capacity of the mortar mixture and compressive strength of hardened mortars. It has been established that of all the combinations of methylcellulose with various polyacrylamides, the most optimal is the composition including 0.05 % MC-S and 0.05 % cationic polyacrylamide. In this case, there was no stickiness of the solution, and the water-holding capacity was at the level of a mixture with pure cellulose ether, as were the strength indicators.

Keywords: methylcellulose, polymer additives, mortar mixture, cement-sand mortar, mobility of the mixture, water-holding capacity, compressive strength

Современные сухие строительные смеси содержат высокоэффективные водоудерживающие добавки на основе импортируемых полимерных эфиров целлюлозы с различной молекулярной массой и вязкостью водных растворов, которые обладают достаточной скоростью растворения в воде, позволяют избежать расслоения и седи-

ментации, являются устойчивыми к продуктам гидратации цемента и биологически безвредны [1–4]. В связи с этим возможность частичной замены иностранных эфиров целлюлозы более дешевыми водоудерживающими водорастворимыми полимерными добавками без ухудшения водоудерживающих свойств является актуальной задачей.

Водоудерживающая способность отражает свойство растворной смеси удерживать в своем составе достаточное количество воды для сохранения реологических свойств на пористых основаниях и для нормального твердения вяжущего в условиях интенсивного отсоса воды пористым основанием. Наличие этого свойства позволяет избежать обезвоживания свеженанесенной растворной смеси.

Целью нашего исследования являлось изучение влияния комплекса добавок – отечественной полимерной добавки метилцеллюлозы МЦ-С, полиакриламида с молекулярной массой $MM=2 \times 10^6$, полиакриламида АК-636 Р-КП 555 с молекулярной массой 1×10^7 и амфолитного полиакриламида АК-631 – на подвижность, водоудерживающую способность растворной смеси и прочность при сжатии затвердевших растворов. Дозировка МЦ-С, полиакриламида с $MM=2 \times 10^6$, полиакриламида АК-636 Р-КП 555 с $MM=1 \times 10^7$, амфолитного полиакриламида АК-631 составляла 0,05–0,1 % от массы сухих смесей.

Исследования проводились на цементно-песчаном растворе состава 1:3 при водоцементном отношении 0,7. Водоудерживающую способность растворной смеси определяли в соответствии с методикой ГОСТ 5802-86. Полученные результаты эксперимента по определению подвижности и водоудерживающей способности цементно-песчаной растворной смеси представлены в таблице.

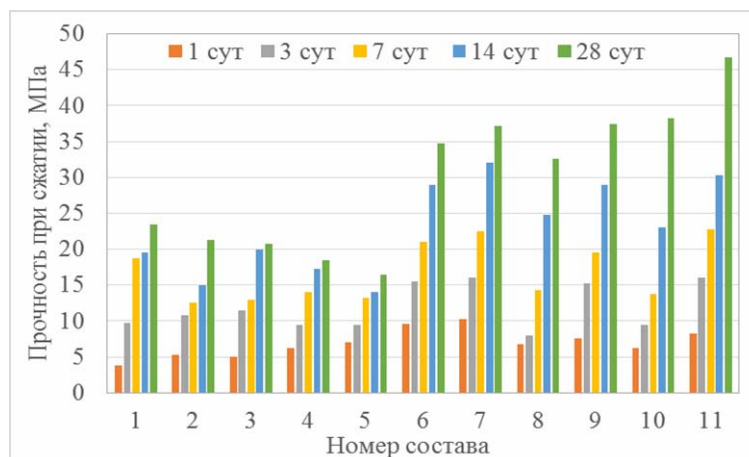
Влияние полимерных добавок на водоудерживающую способность цементно-песчаных растворных смесей

№ серии	№ состава	Количество добавок, %	Подвижность растворной смеси, мм	Водоудерживающая способность, %
1	2	3	4	5
I серия	1	Контрольный без добавки	118x120	96,66
	2	Метилцеллюлоза МЦ-С – 0,1 %	70x73	99,92
	3	Метилцеллюлоза МЦ-С – 0,05 % Полиакриламид с $MM=2 \cdot 10^6$ – 0,05 %	73x73	99,70
	4	Метилцеллюлоза МЦ-С – 0,05 % Полиакриламид с $MM=2 \cdot 10^6$ – 0,1 %	70x69	99,80
II серия	5	Метилцеллюлоза МЦ-С – 0,1 %	78x79	99,84
	6	Метилцеллюлоза МЦ-С – 0,05 % Полиакриламид АК-636 Р-КП 555 с $MM=1 \times 10^7$ – 0,05 %	68x76	99,89
	7	Метилцеллюлоза МЦ-С – 0,05 % Полиакриламид АК-636 Р-КП 555 с $MM=1 \times 10^7$ – 0,1 %	82x85	99,79
III серия	8	Метилцеллюлоза МЦ-С – 0,1 %	68x70	99,88
	9	Метилцеллюлоза МЦ-С – 0,05 Полиакриламид амфолитный АК-631 – 0,05 %	56x59	99,79
	10	Метилцеллюлоза МЦ-С – 0,05 % Полиакриламид амфолитный АК-631 – 0,1 %	61x64	99,83

1	2	3	4	5
IV серия	11	Полиакриламид с ММ= $2 \cdot 10^6$ – 0,015 %	86x86	97,54
	12	Полиакриламид с ММ= $2 \cdot 10^6$ – 0,03 %	112x120	98,53
	13	Полиакриламид Амфолитный АК-631 – 0,015 %	135x136	97,73
	14	Полиакриламид Амфолитный АК-631 – 0,03 %	120x124	97,43
	15	Полиакриламид АК-636 Р-КП 555 с ММ= 1×10^7 – 0,015 %	117x120	97,78
	16	Полиакриламид АК-636 Р-КП 555 с ММ= 1×10^7 – 0,03 %	98x100	97,95

Результаты исследований показывают, что полимерная добавка метилцеллюлоза МЦ-С проявляет в цементно-песчаных растворных смесях сильный загущающий эффект, однако с её введением смесь становится менее тиксотропной и устойчивой к сползанию. При комбинации добавки метилцеллюлозы МЦ-С – 0,05 % и полиакриламидов в количестве 0,05 и 0,1 % водоудерживающая способность растворных смесей практически сохраняется. При этом проявляется и вторичный эффект модификации: с добавкой метилцеллюлозы МЦ-С растворные смеси становятся более пластичными и удобоукладываемыми, а совместно с добавками полиакриламидов – пластичными, липкими, тягучими, что является следствием включения длинных молекул полимера в систему. Высокая липкость раствора при одновременном увеличении его когезии нежелательна. Такой раствор может налипать на рабочие инструменты. Поэтому оптимальная добавка полиакриламида в количестве 0,05 % принята с учетом уменьшения липкости.

Для выявления влияния добавок на прочность при сжатии были изготовлены образцы-кубики размерами 30x30x30 мм из цементно-песчаных растворных смесей. Образцы твердели в нормально-влажностных условиях, а затем подвергались испытанию на прочность при сжатии в различные сроки твердения. Результаты определения прочности цементно-песчаного раствора представлены на рисунке.



Кинетика набора прочности при сжатии цементно-песчаных растворов с полимерными добавками:

- 1 – метилцеллюлоза МЦ-С – 0,1 %; 2 – метилцеллюлоза МЦ-С – 0,05 % + полиакриламид катионноактивный АК-636Р-КП555 – 0,05 %; 3 – метилцеллюлоза МЦ-С – 0,05 % + полиакриламид катионноактивный АК-636Р-КП555 – 0,1 %; 4 – метилцеллюлоза МЦ-С – 0,05 % + полиакриламид амфолитный АК-631 (неионогенный) – 0,05 %; 5 – метилцеллюлоза МЦ-С – 0,05 % + полиакриламид амфолитный АК-631 (неионогенный) – 0,1 %; 6 – полиакриламид с ММ= $2 \cdot 10^6$ – 0,015 %; 7 – полиакриламид с ММ= $2 \cdot 10^6$ – 0,03 %; 8 – полиакриламид амфолитный АК-631 (неионогенный) – 0,015 %; 9 – полиакриламид амфолитный АК-631 (неионогенный) – 0,03 %; 10 – полиакриламид катионноактивный АК-636Р-КП555 – 0,015 %; 11 – полиакриламид катионноактивный АК-636Р-КП555 – 0,03 %

Как видно из рисунка, все полиакриламиды являются хорошими добавками, повышающими прочность растворов. Введение полимерной добавки метилцеллюлозы МЦ-С с полиакриламидом незначительно замедляет формирование прочности цементно-песчаного раствора во все сроки твердения. Ранняя прочность цементно-песчаного раствора с этими добавками во всех составах не уступает прочности составов с метилцеллюлозой МЦ-С. В дальнейшем прочность цементно-песчаного раствора с комплексными добавками несколько ниже, чем контрольного состава. В более поздние сроки через 28 суток твердения цементно-песчаного раствора с комплексной добавкой метилцеллюлозы в количестве 0,05 % и полиакриламида в количестве 0,1 % максимальное значение прочности составляет от 16 до 21 МПа, что на 12–30 % ниже прочности контрольного состава.

Проанализировав полученные данные, из всех вариантов комбинаций метилцеллюлозы с различными полиакриламидами был выбран наиболее оптимальный состав, включающий 0,05 % МЦ-С и 0,05 % катионно-активного полиакриламида. В этом случае отсутствовала липкость раствора, а водоудерживающая способность была на уровне смеси с чистым эфиром целлюлозы, как и прочностные показатели. Учитывая, что стоимость метилцеллюлозы МЦ-С значительно выше, чем полиакриламида, снижение расхода метилцеллюлозы МЦ-С при сохранении свойств раствора уменьшает стоимость комплексной добавки в 1,9 раза.

Список литературы

1. Батраков, В.Г. Модификаторы бетона – новые возможности / В.Г. Батраков // Материалы 1-й Всероссийской конференции по бетону и железобетону. – М., 2001. – С.184–197.
2. Демьянова, В.С. Эффективные сухие строительные смеси на основе местных материалов / В.С. Демьянова, В.И. Калашников. – М.: Изд-во АСВ; Пенза: ПГАСА, 1999.
3. Безбородов, В.А. Сухие смеси в современном строительстве / В.А. Безбородов, В.И. Белан, П.И. Мешков [и др.]; под ред. В.И. Белана. – Новосибирск: НГАСУ, 1998. – 94 с.
4. Большаков, Э.Л. Сухие смеси для отделочных работ / Э.Л. Большаков // Строительные материалы. – 1997. – №7. – С. 8–9.

Referenses

1. Batrakov, V.G. Concrete modifiers – new opportunities / V.G. Batrakov // Materials of the 1st All-Russian Conference on Concrete and Reinforced Concrete. – M., 2001. – P.184–197.
2. Demyanova, V.S. Effective dry building mixtures based on local materials / V.S. Demyanova, V.I. Kalashnikov. – M.: Publishing house ASV; Penza: PGASA, 1999.
3. Bezborodov, V.A. Dry mixtures in modern construction / V.A. Bezborodov, V.I. Belan, P.I. Meshkov [etc.]; Ed. V.I. Belana. – Novosibirsk: NGASU, 1998. – 94 p.
4. Bolshakov, E.L. Dry mixtures for finishing works / E.L. Bolshakov // Construction materials. – 1997. – №7. – P. 8–9.

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

Петров Алексей Анатольевич,
магистрант

Тарасов Роман Викторович,
кандидат технических наук, доцент кафедры
«Управление качеством и ТСП»
E-mail: rwtarasow@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

Petrov Aleksey Anatolyevich,
Master's student

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

ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЛЕСТНИЦ ДЛЯ ЖИЛОГО МАЛОЭТАЖНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

А.А. Петров, Р.В. Тарасов

Статья посвящена основам конструирования лестниц в малоэтажном строительстве. В значительной части строящихся малоэтажных жилых домов не предусмотрены лестницы из сборных ЖБИ, и необходимо рассчитывать конструкцию под уже имеющиеся габариты. В качестве примера рассмотрены два типа лестниц: прямой марш на деревянных косоурах, радиусная лестница с пригласительными ступенями на металлическом каркасе.

Ключевые слова: моделирование, план лестницы

BASICS OF DESIGNING STAIRS FOR LOW-RISE CONSTRUCTION

A.A. Petrov, R.V. Tarasov

The article is devoted to the basics of designing stairs in low-rise construction. In a significant part of low-rise residential buildings under construction, stairs made of precast concrete are not provided and it is necessary to calculate the design for the existing dimensions. As an example, two types of stairs are considered: a straight march on wooden ropes, a radius staircase with invitation steps on a metal frame.

Keywords: modeling, staircase plan

Анализ технической литературы по конструированию лестниц позволяет их классифицировать по назначению в зависимости от угла подъема лестницы [1-3]. Исходя из практики конструирования эта зависимость часто верна. Однако могут возникать ситуации, когда для конструирования лестницы необходимо учитывать габариты помещения и проемы, в которые невозможно уместить лестницу с углом подъема менее 55 градусов, а в некоторых случаях и менее 60 градусов. Классификация лестниц по назначению в зависимости от угла подъема представлена на рис. 1 [4].

Существует большое количество типов лестниц (по построению в плане): прямой марш, Г-образная, П-образная, радиусная и другие. Возможно комбинирование этих типов. Некоторые типы лестниц (по плану построения) представлены на рис. 2 [4].

Существуют две основные формулы для расчета лестниц: формула удобства и формула безопасности. В специализированной литературе диапазоны значений упоминаемых формул могут незначительно различаться, поэтому на практике рекомендуется ориентироваться на средние значения. Они получены исходя из среднего шага человека (600-650 мм). Эти формулы зависят от проступи (B) и высоты подступенка лестницы (H).

Формула удобства: $2H+B=600-650$ мм.

Формула безопасности: $H+B=400-450$ мм.

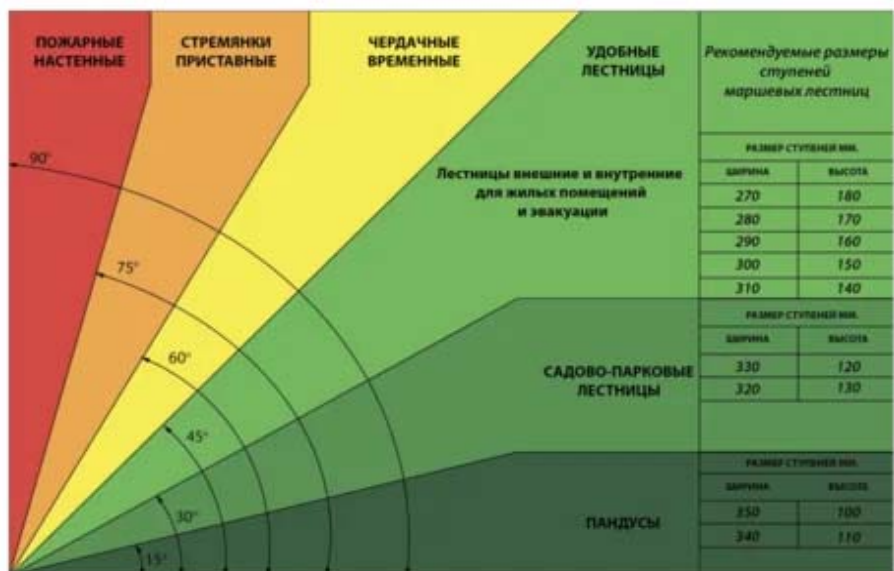


Рис. 1. Классификация лестниц по назначению в зависимости от угла подъема

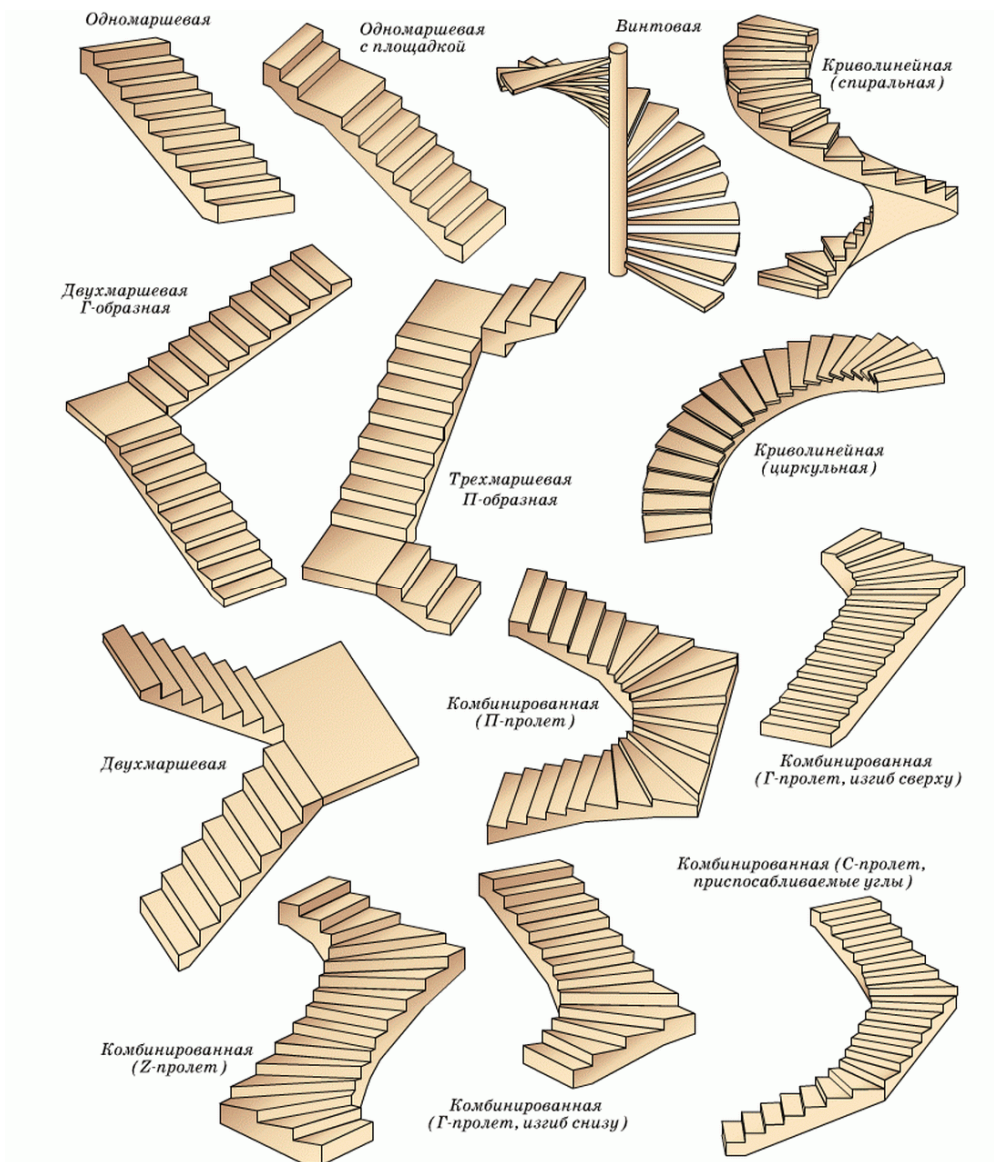


Рис. 2. Основные типы лестниц

Эти формулы формируют расчетный «треугольник лестницы». Наглядно значения этих формул представлены на рис. 3.

На рис. 3 отмечено нависание (C), которое задается в промежутке от 20 до 50 мм. Стоит отметить, что на практике нависание принимается равным 40 мм, что обусловлено эстетикой, габаритами исходных щитов и возможностью установки подсветки в нависание.

Важным параметром при построении лестницы является линия хода. Она пролегает по центру ступеней, если их длина ≤ 1000 мм. Если длина ступеней более 1000 мм, то линия хода должна располагаться в 500 мм от торца ступени по внутренней линии. Это обусловлено тем, что человек, перемещаясь по лестнице, держится за поручень, который должен быть расположен у торца ступени. Если верхняя ступень по расчету располагается ниже уровня пола, то в таком случае стоит сделать зазор для каркаса. Наиболее очевидно этот факт просматривается в радиусных лестницах (рис. 4).

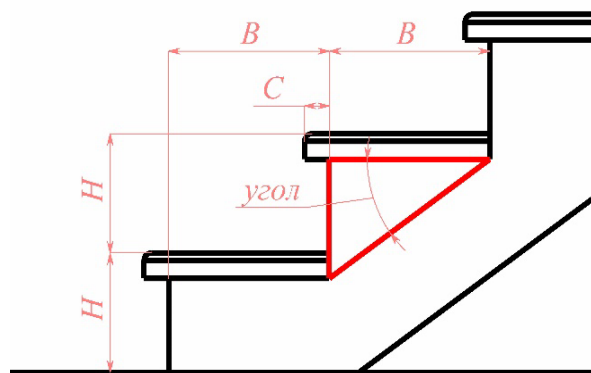


Рис. 3. «Расчетный треугольник»

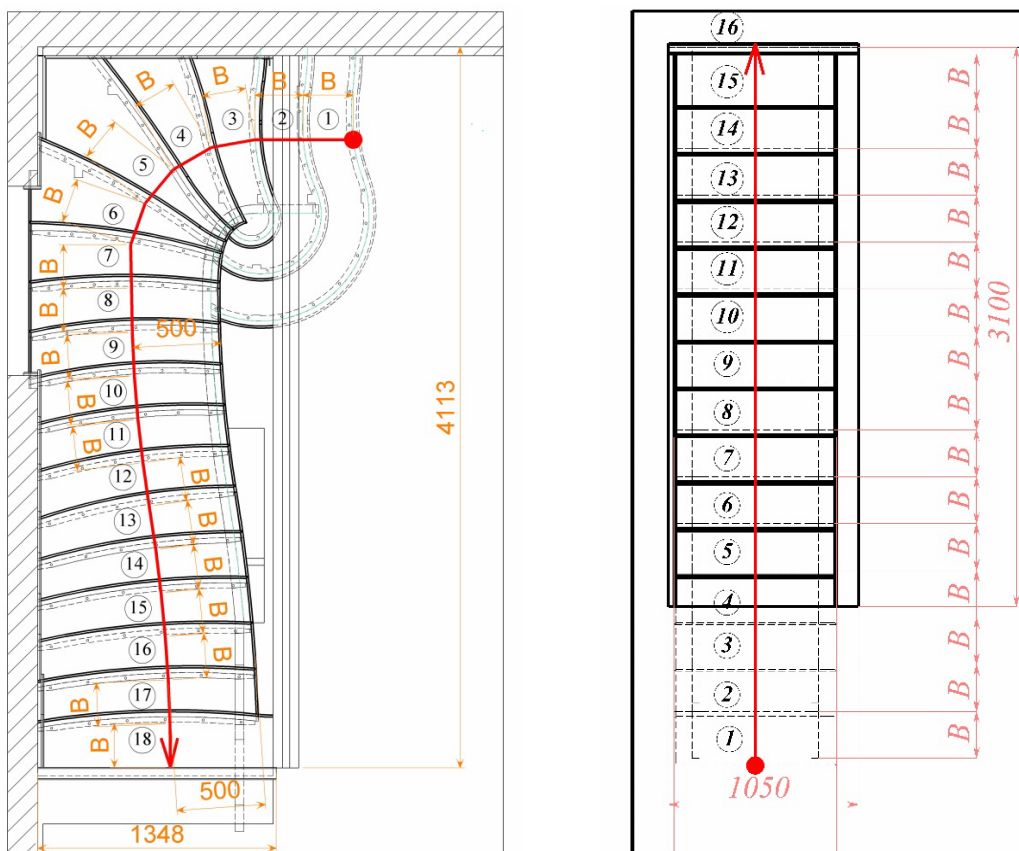


Рис. 4. План лестницы с прямым маршем, план радиусной лестницы с изменяемым радиусом и пригласительными ступенями

План лестницы подбирается с учетом множества параметров: формул удобства и безопасности, минимальной высоты от крайней ступени под краем проема (не менее 2000 мм), габаритов проема (общая высота, длина проема, высота до потолка). На рис. 5 показан разрез с основными параметрами для лестницы с прямым маршем. Если сделать разрез по линии хода любой другой лестницы, она будет иметь схожий вид.

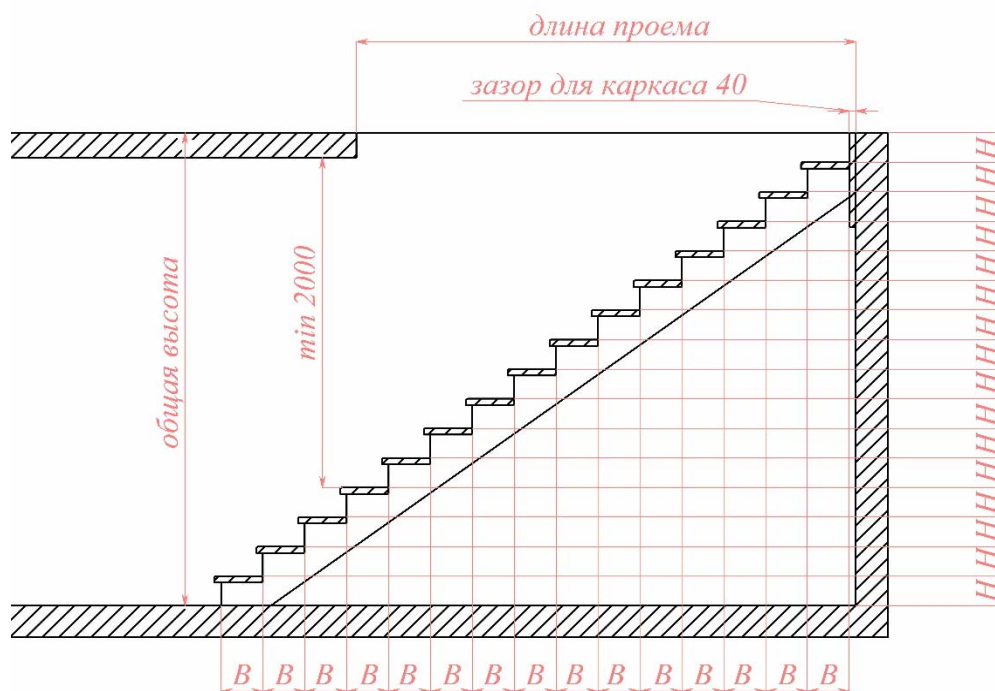


Рис. 5. Разрез лестницы с основными параметрами

После расчета лестницы можно подробно проектировать помещение и ступени с подступенками (если они предусмотрены). Получаются «подвешенные» ступени в помещении (рис. 6) (ступени и подступенки без каркаса).

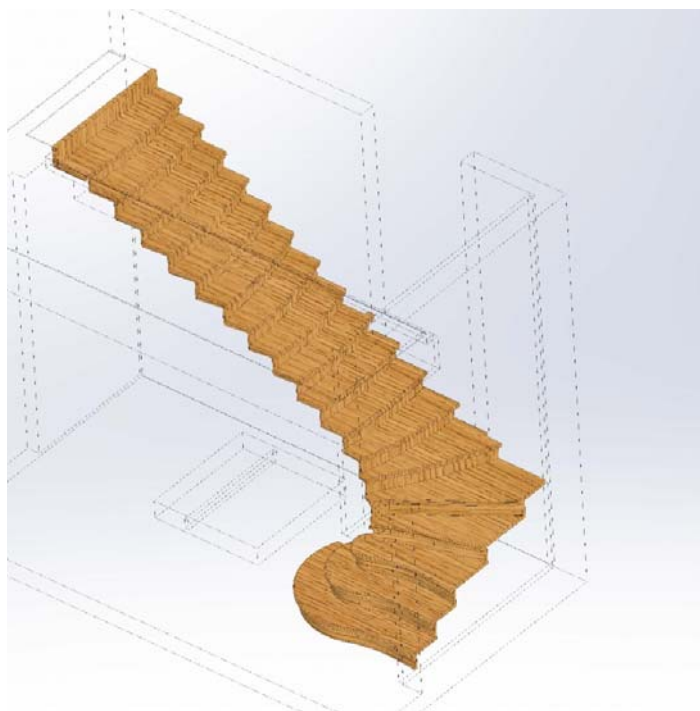


Рис. 6. Ступени и подступенки без каркаса

По получившимся ступеням далее выполняется построение каркаса. Каркас может быть исполнен как классической (косоуры, тетивы) формы, так и более необычными (висячая конструкция, на кронштейнах и др.) формами. Как правило, конструкцию каркаса выбирает клиент. При конструировании каркаса стоит учитывать крепления всех деталей лестницы, простоту сборки на объекте и максимальные длины деталей для удобной перевозки. Основным нормативным требованием для конструирования является СП 20.13330.2016 «Свод правил нагрузки и воздействия» (п. 8,2 «Равномерно распределенные нагрузки», п. 8,3 «Сосредоточенные нагрузки»). В представленной дугообразной лестнице клиентом был выбран вариант металлического каркаса из листовых косоуров и поперечек из профилированной трубы (рис. 7).

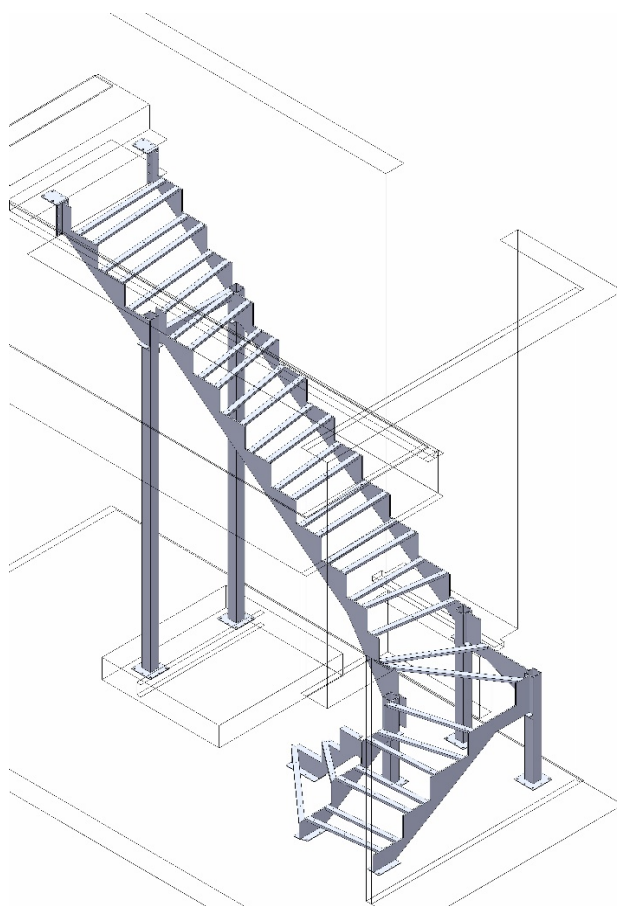


Рис. 7. Металлический каркас

На рассмотренном варианте с прямым маршем видно, что проект лестницы главным образом отвечает требованию удобства пользования лестницей благодаря соответствию формулам удобства и безопасности. В первую очередь в проекте лестницы должны быть расставлены ступени, подступенки, а уже после построен каркас лестницы, иначе сложно будет получить красивое изделие с грамотными узлами примыкания.

Список литературы

1. Савельев, А.А. Лестницы. Расчет и монтаж / А.А. Савельев. – М.: Аделант, 2010. – 128 с.
2. Савенко, Л. Лестницы в вашем доме. Проектирование, строительство, монтаж / Л. Савенко. – Ростов н/Д: Феникс, 2015. – 188 с.
3. Новицкий, О.В. Современные лестницы: проектирование, изготовление, монтаж / О.В. Новицкий. – М.: Аделант, 2007. – 87 с.

4. Косо, Й. Лестницы. Дизайн и технологии / Й. Косо. – М.: Издательская группа «Контэнт», 2007. – 186 с.

References

1. Savelyev, A.A. Stairs. Calculation and installation / A.A. Savelyev. – М.: Adelant, 2010. – 128 p.
2. Savchenko, L. Stairs in your house. Design, construction, installation / L. Savchenko. – Rostov on Don: Phoenix, 2015. – 188 p.
3. Novitsky, O.V. Modern stairs: design, manufacture, installation / O.V. Novitsky. – М.: Adelant, 2007. – 87 p.
4. Koso, J. Stairs. Design and technology / J. Koso. – М.: Publishing group «Content», 2007. – 186 p.

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

Тарасеева Нелли Ивановна,
кандидат технических наук, доцент кафедры
«Геотехника и дорожное строительство»
E-mail: tnelly77@mail.ru

Мордовский государственный университет
имени Н.П. Огарёва

Россия, 430005, Республика Мордовия,
г. Саранск, ул. Большевикская, д. 68,
тел.: (8342) 24-37-32; факс. (8342) 47-29-13

Осипов Дмитрий Евгеньевич,
аспирант
E-mail: tanosipova73@yandex.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

Taraseeva Nelly Ivanovna,
Candidate of Sciences, Associate Professor of the
Department «Geotechnics and Road Construction»
E-mail: tnelly77@mail.ru

*Mordovian State University named after
N.P. Ogareva*

Russia, 430005, Republic of Mordovia, Saransk,
68, Bolshevistskaya St.,
tel.: (8342) 24-37-32, fax: (8342) 47-29-13

Osipov Dmitry Evgenievich,
Postgraduate student
E-mail: tanosipova73@yandex.ru

ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОСЕТЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ ДОРОЖНОЙ ОТРАСЛИ

Н.И. Тарасеева, Д.Е. Осипов

Приведены результаты анализа математической модели нейронной сети на предмет адаптации к решению задач оптимизации диагностики автомобильных дорог и мостовых сооружений. Исследование направлено на обеспечение надежности и долговечности не только конструкции дорожной одежды, но и автомобильной дороги в целом, а также повышение уровня транспортно-эксплуатационных показателей и безопасности дорожного движения.

Ключевые слова: автомобильная дорога, мостовое сооружение, транспортно-эксплуатационное состояние, диагностика, нейронные сети, дефекты

APPLICATION OF NEURAL NETWORK TECHNOLOGIES IN SOLVING PROBLEMS OF THE ROAD INDUSTRY

N.I. Taraseeva, D.E. Osipov

The results of the analysis of a mathematical model of a neural network for adaptation to solving problems of optimizing diagnostics of highways and bridge structures are presented. The research is aimed at ensuring the reliability and durability of not only the road pavement structure, but also the road as a whole, as well as increasing the level of transport and operational performance and road safety.

Keywords: highway, bridge structure, transport and operational condition, diagnostics, neural networks, defects

Большая роль в транспортной системе страны принадлежит автомобильному транспорту, поскольку объем грузов, перевозимых по автомобильным дорогам, в разы превышает железнодорожные перевозки. Для успешного функционирования автомобильного транспорта (АТ) необходимо, чтобы технические параметры и характеристики искусственного сооружения, каким и является дорога, удовлетворяли возможностям и условиям движения, а современные транспортные средства (ТС) могли реализовать свои динамические свойства. Выдержать это соотношение непросто, поскольку автомагистрали эксплуатируются не одно десятилетие, а развитие АТ происходит очень быстро. Возрастающие объемы перевозок, увеличение скоростей и

интенсивности движения требуют не только совершенствования материалов и технологий основания и покрытия дорог, но и инженерного оборудования и транспортно-эксплуатационных характеристик на стадии как проектирования, так и эксплуатации.

Установлено, что на состояние эксплуатируемых дорог оказывают влияние различные факторы: воздействие многократно повторяющихся нагрузок от проезжающих транспортных средств, возрастающая интенсивность движения, преобладание в составе транспортного потока большегрузных автомобилей, изменение погодноклиматических и гидрогеологических условий. Подобные воздействия способствуют возникновению в слоях дорожной одежды и земляном полотне различных напряжений и деформаций. Анализ текущего состояния дорожных покрытий показал, что накапливающиеся внутренние усилия со временем приводят к нарушению целостности основания и появлению на поверхности полотна различных дефектов: поперечных и продольных трещин, как одиночных, так и в виде сеток, выбоин, провалов, колеиности, наплывов, сдвигов и т.д. Кроме того, по автомобильным дорогам осуществляют движение специализированные и тяжеловесные транспортные средства, перевозящие различные грузы, масса которых иногда превышает допустимую осевую нагрузку. Проезд таких автомобилей также снижает прочность дорожной одежды, особенно в неблагоприятные периоды, когда земляное полотно максимально переувлажнено в сочетании с прогревом конструкции весенним солнцем.

В связи с этим периодическая диагностика состояния автомобильных дорог и искусственных сооружений, т.е. оценка транспортно-эксплуатационных показателей по соответствию нормативным требованиям фактических свойств, параметров и характеристик, является одной из важнейших тем для исследований, поскольку состояние автомобильных дорог влияет на эффективность и безопасность работы автомобильного транспорта, окружающую среду, отражает интересы пользователей дорог.

Как известно, порядок мониторинга состояния автомобильных дорог, его периодичность, требования к выполнению полевых и камеральных работ, приборам и оборудованию, методологии измерения, результатам работ регламентируются нормативными документами [1, 2]. Зачастую оценка транспортно-эксплуатационного состояния проводится специализированными инженеринговыми организациями с использованием передвижных диагностических лабораторий, сертифицированных приборов и оборудования, специалистами соответствующей профильной квалификации. Мобильные комплексы оснащены современными приборами и оборудованием (рис. 1) и могут включать панорамные видеокамеры последнего поколения и даже технологии искусственного интеллекта. Однако с учетом современных тенденций развития технологий альтернативным инструментом для контроля состояния дорожных объектов может быть нейронная сеть (НС).



Рис. 1. Видеокамера для оценки дефектов покрытий дорог

В нашем исследовании одним из показателей транспортно-эксплуатационного состояния, подлежащих оценке, является прочность дорожного покрытия, по которому назначаются такие ремонтные мероприятия, как усиление дорожной одежды или ее переустройство. Данную оценку выполняли в весенний период, когда все снежные осадки уходят. Установлено, что в этот период времени покрытие находится в самом уязвимом состоянии по причине того, что грунт рабочего слоя земляного полотна

находится в мерзлом состоянии и не проявляет упругие свойства, а асфальтобетонные слои испытывают максимально-упругие деформации. Такие деформации приводят верхний слой покрытия к необратимым прогибам, из-за которых и появляются основные поверхностные дефекты. Поэтому при обследовании дорог необходимо определять проблемные участки с целью рационального планирования, ранжирования и назначения ремонтных работ по усилению дорожных одежд.

Нами использовались следующие способы оценки: визуальный и автоматизированный.

Визуальную регистрацию дефектов дорожного покрытия выполняли ручным способом путем определения геометрических размеров повреждений средствами измерений с последующим занесением в специальный полевой журнал. Полученные данные позволили выделить однотипные участки, внутри каждого участка назначить частные микроучастки с практически одинаковым состоянием дорожной одежды (с однотипными видами дефектов) и вычислить средневзвешенный балл согласно ОДМ 218.4.039–2018 [2].

В экспериментальной части исследований альтернативным инструментом распознавания дефектов стала нейронная сеть, которая представляет собой программную математическую модель, построенную по принципу организации и функционирования биологических нейронных сетей. Она прогоняет входные данные через систему взаимодействующих между собой более простых программ и выдает результат.

Для автоматического распознавания было применено оборудование, состоящее из скоростных линейных камер. По результатам данной съемки в программе с использованием алгоритма нейронных сетей выполнена обработка полученных изображений, с помощью инструментов программы на кадре зафиксирован вид дефекта и его геометрические параметры (рис. 2).

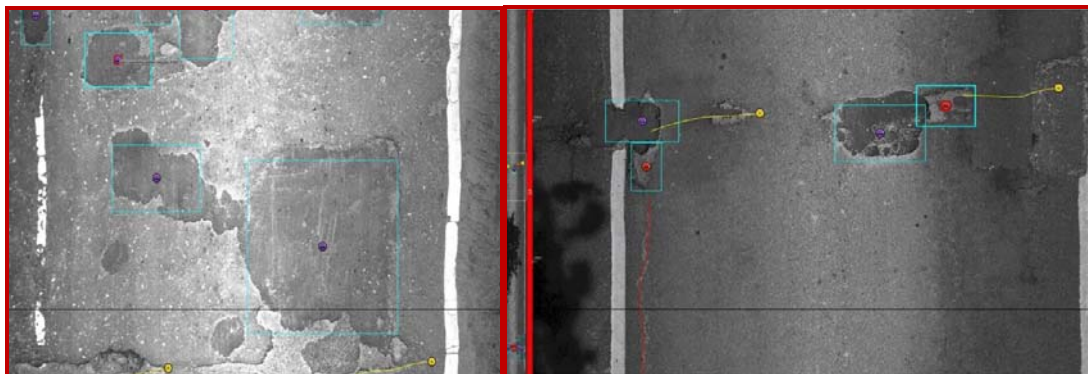


Рис. 2. Пример распознавания дефектов дорожного покрытия нейронной сетью: в рамках определены площадные объекты, а линиями – отдельные трещины

Для успешного функционирования нейронные сети обеспечены информацией, полученной с использованием большого количества экспериментальных и статистических данных. Анализ отечественного и зарубежного опыта, публикаций в научно-технических изданиях показал, что в настоящее время существует значительное количество наборов данных для обучения нейронных сетей, включающих входные и выходные сведения [3, 4]. Качество подготовленного к обработке материала оказывает значительное влияние на процесс распознавания, группировки и отнесения к определенному виду.

Экспериментально-аналитическим путем установлено, что полученные результаты работы сети периодически отличаются от реальных изображений, то есть существует погрешность обработки. При тестировании программы были выявлены некоторые погрешности обработки нейросетью. Например, на реальных изображениях дефекты дорожного покрытия отсутствуют, а нейронная сеть распознает дефект в виде трещины от тени ветки дерева или барьерного ограждения. Также часто встречается ошибка сети при определении карт заделанных выбоин, когда покрытие еще не

высохло или под тенью деревьев имеет более темный цвет. Во время проведения экспериментальных исследований было установлено, что при отсутствии осевых и краевых линий разметки сеть путается в определении центральных или боковых трещин. Это сказывается на общей оценке качества работы НС. При возникновении систематических ошибок сеть дообучают и проверяют ее работу снова до тех пор, пока не исчезнет данная ошибка. При проведении большого объема работ по оценке состояния дорожного покрытия применение нейронной сети позволяет существенно повысить скорость и качество обследования и снизить использование ручного труда, что является положительным аспектом данной математической модели применительно к дорожной отрасли.

Нейронные сети могут отвечать за распознавание типов транспортных средств при автоматическом считывании номеров, за выявление нарушений дорожного движения, за определение интенсивности движения по данному участку автомобильной дороги или искусственного сооружения, за управление сигналом светофорного цикла и т.д. Распознавание типов транспортных средств и отнесение их к определенному классу может проводиться сетью по их габаритам и осям. При этом возможно использование как европейской классификации транспортного потока EUR 6, так и классификации EUR 13, применяемой для решения задач, связанных с проектированием и оценкой прочности дорожных одежд. Принцип работы сети заключается в следующем: при обнаружении транспортного средства определяется наличие и количество колесных осей, габариты транспортного средства, а по внутренним характеристикам камеры определяют расстояние до транспортного средства и его скорость: по полученным данным распознают наиболее подходящую модель транспортного средства; алгоритм принимает входное изображение и делит его на сетку фрагментов; в каждом фрагменте выбирается несколько прямоугольных ограничивающих рамок, для каждой из которых нейросеть оценивает принадлежность к классам.

Также практическое значение нейронной сети заключается в том, что с ее помощью можно выявлять отклонения в состоянии объектов дорожной инфраструктуры и прилегающей территории: автомобильной дороги, бордюров, дорожных знаков, светофоров, опор освещения и других. С помощью мобильных комплексов можно определять признаки загрязнений, наличия краски, наклеек и надписей на поверхности информационных указателей, контролировать переполнение урн возле остановок общественного транспорта и выявлять другие нарушения. Опыт использования работы искусственного интеллекта в Москве для анализа потенциальных недочетов содержания объектов, примененный пока к 9 основным типам нарушений, показал точность распознавания около 90 % и сокращение времени фиксации нарушения втрое. Искусственный интеллект анализирует непрерывную видеосъемку объектов и скриншоты изображений с камер городской системы видеонаблюдения с указанием типа отклонения, даты, времени и места фиксации передает операторам. После проверки оператором информация передается для исправления в службу содержания данного объекта. Благодаря работе нейросети операторы просматривают только изображения с высокой вероятностью нарушения.

Технологии нейронных сетей открывают новые возможности для решения задач оптимизации диагностики автомобильных дорог и мостовых сооружений. В [3] отмечается, что искусственный интеллект может снизить издержки компаний благодаря своевременной диагностике строительных объектов. Автор отмечает многовариантность использования искусственного интеллекта для решения множества сложных задач прогнозирования, оценки, оптимизации. Нейронные сети могут быть использованы при расчете модуля упругости слоев дорожного покрытия. Проведенные исследования показали эффективность определения механических свойств как отдельных материалов, так и дорожных конструкций в целом [4, 5]. Полученные результаты с применением технологии нейронных сетей согласуются с экспериментальными данными, полученными установкой динамического нагружения [5].

Применение нейронных сетей позволяет практически применять повышенные требования к качеству комплексной инфраструктурной услуги, предоставляемой

пользователям автомобильных дорог, а также по результатам обработки полученных диагностических данных прогнозировать соответствие дорожных покрытий нормативным требованиям и оптимизировать стратегию содержания и своевременного планирования ремонтно-восстановительных работ по годам эксплуатации с учётом фактической интенсивности и состава движения.

Список литературы

1. ГОСТ 33388-2015. Дороги автомобильные общего пользования. Требования к проведению диагностики и паспортизации. – М., 2015.
2. ОДМ 218.6.039-2018. Рекомендации по диагностике и оценке технического состояния автомобильных дорог. – М., 2018.
3. Газаров, А.Р. Преимущества использования искусственного интеллекта в сфере строительства / А.Р. Газаров // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2020. – № 4. – С. 136–139.
4. Осипова, Т.В. Критерии оценки технического состояния автомобильных дорог / Т.В. Осипова, М.М. Сорокин, Д.Е. Осипов // Техническое регулирование в транспортном строительстве. – 2018. – № 1(27).
5. Бабушкина, Н.Е. Решение задачи определения механических свойств материалов дорожных конструкций с использованием нейросетевых технологий / Н.Е. Бабушкина, А.А. Ляпин // Advanced Engineering Research. – 2022. – Т. 22, № 3. – С. 285–292. – URL: <https://doi.org/10.23947/2687-1653-2022-22-3-285-292>

References

1. GOST 33388-2015. Public roads. Requirements for diagnostics and certification. – M., 2015.
2. ODM 218.6.039-2018. Recommendations for diagnosing and assessing the technical condition of highways. – M., 2018.
3. Gazarov, A.R. Advantages of using artificial intelligence in the field of construction / A.R. Gazarov // News of Tula State University. Technical science. – 2020. – No. 4. – P. 136–139.
4. Osipova, T.V. Criteria for assessing the technical condition of highways / T.V. Osipova, M.M. Sorokin, D.E. Osipov // Technical regulation in transport construction. – 2018. – No. 1(27).
5. Babushkina, N.E. Solving the problem of determining the mechanical properties of road construction materials using neural network technologies / N.E. Babushkina, A.A. Lyapin // Advanced Engineering Research. – 2022. – Vol. 22, No. 3. – P. 285–292. – URL: <https://doi.org/10.23947/2687-1653-2022-22-3-285-292>

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

Хрянина Ольга Викторовна,
кандидат технических наук, доцент кафедры
«Геотехника и дорожное строительство»
E-mail: olgahryanina@mail.ru

Саксонова Елена Степановна,
ст. преподаватель кафедры «Геотехника
и дорожное строительство»
E-mail: saksonovalena@ya.ru

Радаев Владимир Алексеевич,
магистрант
E-mail: mail.@radaewladimir.ru

Шереметьева Марина Ивановна,
студент
E-mail: marinash2004@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

Hryanina Olga Viktorovna,
Candidate of Sciences, Associate Professor of
the Department «Geotechnics and Road
Construction»
E-mail: olgahryanina@mail.ru

Saksonova Elena Stepanovna,
Senior Lecturer of the Department «Geotechnics
and Road Construction»
E-mail: saksonovalena@ya.ru

Radaev Vladimir Alekseevich,
Master's student
E-mail: mail.@radaewladimir.ru

Sheremetyeva Marina Ivanovna,
Student
E-mail: marinash2004@mail.ru

МЕТОДИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ОЦЕНКЕ РАБОТЫ СИСТЕМЫ «ДОРОЖНАЯ ОДЕЖДА – ЗЕМЛЯНОЕ ПОЛОТНО»

О.В. Хрянина, Е.С. Саксонова, В.А. Радаев, М.И. Шереметьева

Приведены результаты методического подхода к обследованию системы «дорожная одежда – земляное полотно». Методический подход обследования состояния автодороги и дорожной одежды предусматривает на первом этапе визуальный осмотр дороги и выявление участков с видимыми дефектами существующего земляного полотна и дорожной одежды. На втором этапе осуществляется вскрытие шурфами асфальтового полотна в местах наиболее видимых повреждений с целью отбора образцов дорожной одежды и последующего анализа. С использованием методов инструментальной диагностики выполнены оценка технического состояния дорожных покрытий, детальное обследование элементов обустройства искусственных сооружений. Сделаны выводы и предложения о необходимости организации диагностического визуально-инструментального комплекса, обеспечивающего постоянный визуальный и, при вынужденных обстоятельствах, инструментальный мониторинг состояния системы «дорожная одежда – земляное полотно».

Ключевые слова: автомобильная дорога, обследование, оценка технического состояния, дорожная одежда, ровность, коэффициент сцепления, видимость, продольный и поперечный уклон

METHODOLOGICAL APPROACH TO THE EVALUATION OF THE SYSTEM «ROAD CLOTHES – ROADBED»

O.V. Hryanina, E.S. Saksonova, V.A. Radaev, M.I. Sheremetyeva

The results of the methodological approach to the examination of the «road clothes – roadbed» system are presented. The methodological approach of the inspection of the condition of the highway and road pavement provides for a visual inspection of the road at the first stage and the identification of areas with visible defects of the existing roadbed and road pavement. At the second stage, the asphalt roadbed was opened with pits in the places of the most visible damage in order to take samples of road clothing and subsequent analysis. Using the methods of instrumental diagnostics, an assessment of the technical condition of road surfaces, a detailed examination of the elements of the

arrangement of artificial structures was carried out. Conclusions and suggestions are made about the need to organize a diagnostic visual-instrumental complex that provides constant visual and, under forced circumstances, instrumental monitoring of the condition of the «road clothing – roadbed» system.

Keywords: road, inspection, assessment of technical condition, road clothing, evenness, coefficient of adhesion, visibility, longitudinal and transverse slope

Введение. На современном этапе интенсивность дорожного движения и разнообразие транспортного потока негативно влияют на все транспортно-эксплуатационные показатели автодорог, и в первую очередь на эксплуатационную надежность автомобильной дороги и безопасность дорожного движения [1, 2].

Значительное место в современной инженерной практике строительства, капитального ремонта и реконструкции дорог занимают мониторинг и диагностика технического состояния автодороги, т.к. ни одно дорожное строительство не обходится без оценки работы системы «дорожная одежда – земляное полотно» как при устройстве автомобильной дороги, так и при её эксплуатации [1]. Однако продолжительный период это осуществляли визуально сотрудники организаций, работающих на дорогах. Тем не менее, получая визуально актуальный материал о дефектах, неисправностях и разрушении дорог, дорожные организации не могут разумно планировать ремонтные работы и, что более важно, точно устанавливать их объем и многообразность. Решение всех этих проблем было неопределенным. Увеличение трафика на дорогах, рост скоростного режима автомобилей, их массы, большая степень аварийности требуют существенной численной информации. Это привело к необходимости разработки объективных инструментальных методов и специализированного оборудования для оценки технического состояния дорожных одежд – коэффициента сопротивления качению, коэффициента сцепления и т.д. Еще одним следствием стало следующее: визуальный метод диагностики конструкций и объектов дороги практически перестал использоваться.

Но в условиях интенсивного дорожного движения, больших затрат на работу, связанных с инструментальной оценкой, сформировалась практика нерегулярного проведения данных исследований, как правило, за некоторое время до капитального ремонта или реконструкции, как оправдание их необходимости. В конечном счете значительные повреждения (характер трещинообразования, наличие и формы выбоин, их параметры, состояние текстуры поверхности покрытий, наличие колеяности и т.п.) в начальный период разрушения системы «дорожная одежда – земляное полотно» остаются незамеченными, что затем значительно увеличивает стоимость ремонтных работ.

В этих условиях предлагается возобновить практику визуального мониторинга дорог вместе с инструментальными методами для оценки их технического состояния.

Конструкция дорожной одежды в большей степени определена свойствами грунтов основания, т.е. напрямую зависит от земляного полотна [7, 8, 9]. Поэтому возникает необходимость рассматривать земляное полотно и конструкцию дорожной одежды не как независимые друг от друга элементы, а как единую взаимосвязанную систему.

Работа элемента «земляное полотно» имеет особое значение, т.к. его деформация может привести к разрушению элемента «дорожная одежда», тогда как деформация дорожной одежды может быть совершенно не связана с деформациями грунтового основания.

В процессе строительства и эксплуатации автодороги в конечном счете всегда изменяются условия существования системы «дорожная одежда – земляное полотно». Поэтому необходим **методический подход** к оценке работы системы «дорожная одежда – земляное полотно», заключающийся в обследовании, полном и достоверном сборе, объективном анализе и мониторинге информации о параметрах, характеристиках и условиях функционирования дорог и сопутствующих дорожных сооружений, наличии недостатков, дефектов, а также прочей информации, требуемой для оценки состояния автодорог и дорожных сооружений в процессе их последующей эксплуатации.

Обследования являются составной частью всех видов работ, направленных на обеспечение высоких транспортно-эксплуатационных качеств автодорог. Результаты

наблюдений и обследований служат исходным материалом для составления проектов капитального ремонта, усиления дорожной одежды, реконструкции отдельных участков дорог и т.п. [1]. При указанном методическом подходе к оценке системы «дорожная одежда – земляное полотно» необходимо разработать **алгоритмы действий и оценки**, позволяющие решить определенные задачи при проведении исследований:

- 1) определить способы и методы диагностики участка автомобильной дороги;
- 2) выполнить оценку соответствия потребительских свойств, параметров и характеристик участка автодороги.

Выбор автодороги для усовершенствования данной методики был сделан на основании дополнительного соглашения с администрацией Тамалинского района Пензенской области и согласно Градостроительному кодексу. Оценка технического состояния выполнялась на примере автомобильной дороги «с.Яковлевка–р.п.Тамала» – с.Дуровка Тамалинского района Пензенской области.

Целью работы являлось получение полной, объективной и достоверной информации о транспортно-эксплуатационном состоянии участка автомобильной дороги [1]. Обследование, оценка состояния автодороги и камеральные работы осуществлялись в соответствии с требованиями действующих нормативно-технических документов [3-14]. Сбор исходных данных выполнялся на основании технической документации и материалов полевых обследований.

Начало обследуемого участка ПК 00+00,00 пересечение с автодорогой «п.г.т. Тамала – Яковлевка» (ПК 39+303); конец обследуемого участка ПК 11+30,00 (граница обслуживаемого участка). Протяженность участка дороги IV категории составляет около 11300 м/п. Ширина проезжей части равна 6,0 м. Количество полос движения две (по одной полосе в прямом и обратном направлении). Тип дорожной одежды облегченный. Материал дорожного покрытия – асфальтобетон, щебень. Ширина обочин – 1,0-3,0 м. Тип укрепления обочин и откосов – засев травами. Искусственные сооружения – железобетонные трубы $\Phi 1000$ (семь шт.). Элементы обустройства автомобильной дороги – знаки дорожные и остановочный павильон.

Расчет продольной ровности дорожного покрытия по международному показателю ровности IRI

Продольный микропрофиль дорожного покрытия получен в результате проезда ПДЛ, оснащенной дорожным ТХК-2. На основании определения результатов продольного микропрофиля рассчитан показатель IRI с шагом 50 м. Результаты расчета показателя ровности IRI представлены на рис. 1.

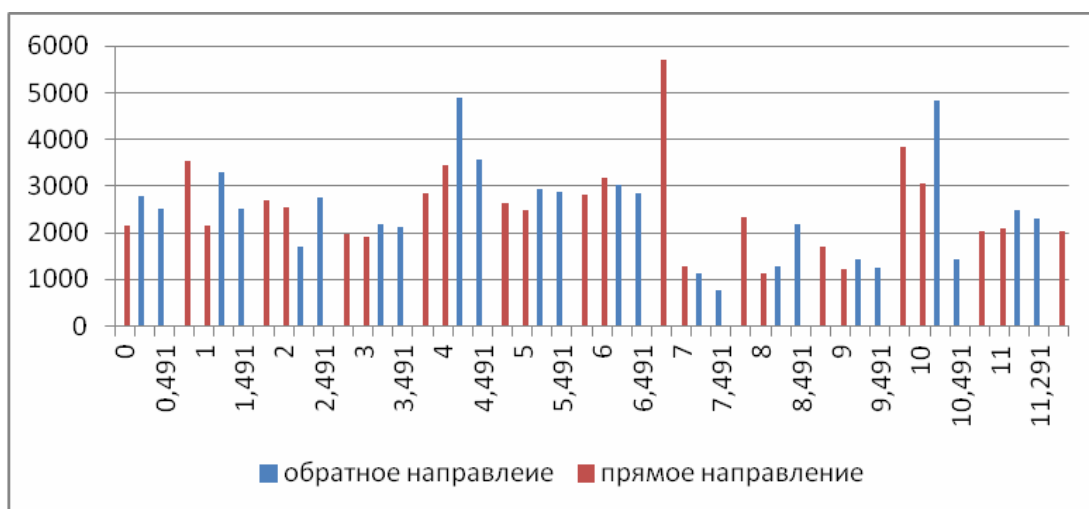


Рис. 1. Диаграмма расчета показателя ровности по IRI

Заключение: максимальное значение показателя продольной ровности IRI составляет 5,71 м/км (5715 см/км), что соответствует требованию [12] от 4,6 до 5,7 м/км – «удовлетворительно».

Оценка сцепных свойств дорожного покрытия

При оценке сцепных свойств выполнены выборочные измерения в соответствии с [13]. Измерения производились в сухую погоду. Средние значения коэффициента сцепления обследуемой дороги представлены на рис. 2.

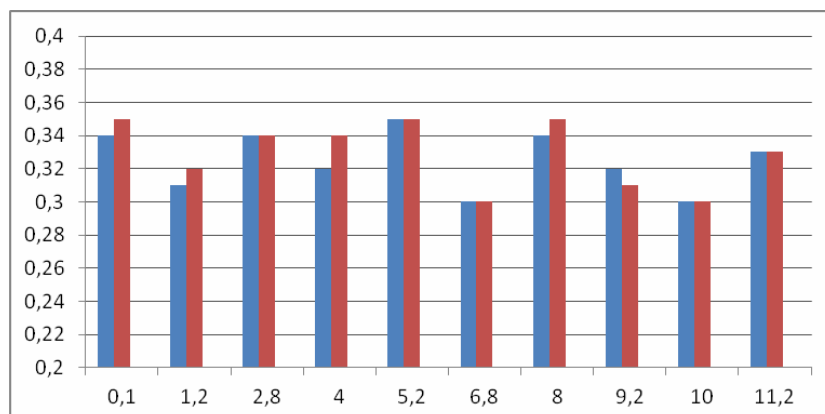


Рис. 2. Диаграмма оценки коэффициента сцепления

Заключение: предельно допустимая величина продольного сцепления $\geq 0,3$. Дорожное покрытие удовлетворяет требуемым условиям эксплуатации по коэффициенту сцепления. Минимальное значение фактического показателя коэффициента сцепления составляет 0,30.

Оценка поперечных и продольных уклонов, данные высотных отметок, расстояния видимости и радиусов кривых

При оценке поперечных уклонов дорожного покрытия осуществлялись сплошные измерения. Измерение поперечных уклонов выполнено с помощью ПДЛ КП-514МП, оснащенной программно-измерительным комплексом «RDT-Line» с системой компенсации положения кузова. Измерения поперечных уклонов произведены по каждой полосе движения.

Заключение: фактические поперечные уклоны составляют от -12‰ до 113‰, что не удовлетворяет требуемым условиям эксплуатации по поперечному уклону. Поперечные уклоны более 60‰ способствуют опрокидыванию автомобилей; поэтому требуются ремонтные работы по доведению поперечных уклонов до нормативных значений для данной категории дороги. Расстояние видимости представлено на рис.3.

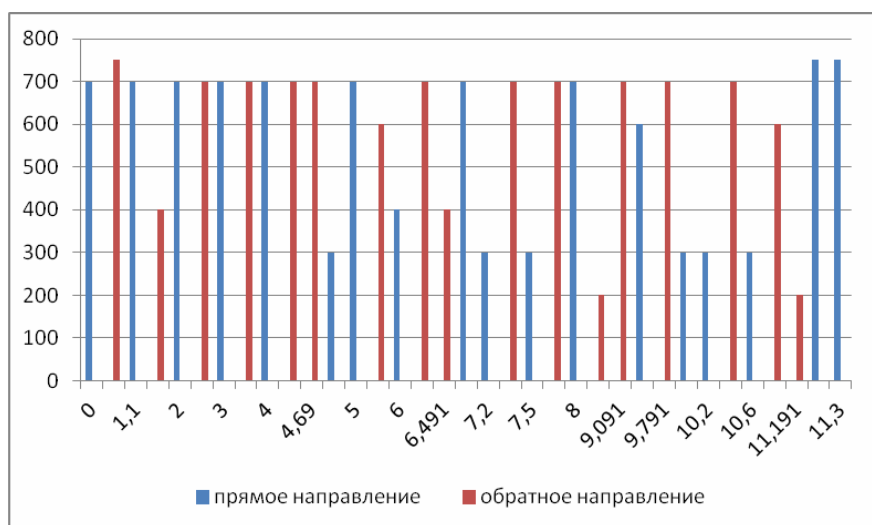


Рис. 3. Диаграмма оценки расстояния видимости

Заключение: наименьшее фактическое расстояние видимости в прямом направлении составляет 300 м, в обратном направлении – 200 м.

Измерение ширины асфальтобетонного покрытия участка автодороги

Ширина асфальтобетонного покрытия участка автомобильной дороги определялась курвиметром с шагом измерения не более 300 м и в местах изменения ширины. В местах измерения ширины покрытия разбивался поперечник, параметры которого заносились в полевой журнал. Измерение ширины производилось по элементам: проезжая часть, тротуар, разделительная полоса. Покрытие проезжей части участка автомобильной дороги оценено в соответствии с нормативными документами путем сравнения фактической ширины асфальтобетонного покрытия (табл. 2) с требуемыми значениями (табл. 1).

Заключение: по результатам измерения ширины покрытия, устроенного из асфальтобетона и щебня, и сравнения полученных результатов с нормативными данными, представленными в [7], данная дорога соответствует IV категории.

Т а б л и ц а 1

Требуемые значения ширины асфальтобетонного покрытия [7]

Фактическая ширина проезжей части, м	до 4,8	5,8-6,8	6,9-7,5	более 7,5
Фактическая ширина основной укрепленной поверхности, м	до 5,6	7,0-8,0	8,1-9,0	более 9,0
Фактическая категория дороги	V	IV	III	II

Т а б л и ц а 2

Результаты измерения ширины асфальтобетонного покрытия

Начало участка, км	Конец участка, км	Ширина проезжей части, м	Ширина с укр. полосой, м	Фактическая категория дороги
1	2	3	4	5
0,000	11,300	6,0	-	IV

Оценка состояния поперечной ровности дорожного покрытия

При оценке поперечной ровности (колейности) выполнены сплошные измерения с помощью ПДЛ КП-514РДТ в соответствии с нормативными документами. Оценка колеяности произведена согласно [13].

Заключение: дорожное покрытие удовлетворяет требуемым условиям эксплуатации по поперечной ровности. Максимальное значение поперечной ровности дорожного покрытия соответствует требованиям [4].

Оценка состояния дорожного покрытия

Визуальная оценка состояния дорожного покрытия выполнена на всем протяжении дороги при проезде ПДЛ в прямом и обратном направлениях. По результатам визуальной оценки состояния покрытия выявлены места для инструментальной оценки прочности дорожной одежды.

Заключение: асфальтобетонное покрытие скирковано с 0,000 км по 6,543 км; на участке 6,543-11,300 дороги покрытие разрушено на 85 %. Выявлена сетка трещин на площади более 10 м² при относительной площади, занимаемой сеткой, 90-60 %. Проломы дорожной одежды (вскрывшиеся пучины) при относительной площади, занимаемой проломами, более 30 %. Балльная оценка по [7] равна 0,8. Произведены отбор образцов для определения соответствия толщины слоев дорожного покрытия нормативным и фотофиксация (рис. 4).

Заключение: дорожное покрытие не соответствует нормативным требованиям [4].



Фото №1. Образец (керн)



Фото №2. Образец (керн)



Фото №3. Образец (керн)



Фото №4. Образец (керн)



Рис. 4. Фотофиксация образцов (кернов) и состояния дорожного покрытия

Оценка состояния обочин и откосов

При оценке ширины и состояния обочин определялось их соответствие основным параметрам поперечного профиля земляного полотна, представленным в табл. 3 [8], для назначения категории дороги.

Ведомость состояния обочин

Местоположение, км	Ширина обочин		Укрепление обочин слева и справа
	слева	справа	
1	2	3	4
0,000-2,100	2,0	1,5	Засев трав
2,100-3,650	2,0	2,0	Засев трав
3,650-6,543	3,0	3,0	Засев трав
6,543-10,606	2,0	2,0	Засев трав
10,606-11,300	1,0	1,0	Засев трав

Оценка состояния искусственных сооружений

Детальное обследование элементов обустройства выполнялось с использованием электронной линейки BOSCH GLM 250VF. Техническое состояние оценивалось визуально (рис. 5).



Рис. 5. Фотофиксация железобетонных искусственных сооружений

Заключение: откосы земляного полотна в пределах водопропускных труб – в неудовлетворительном состоянии, присутствуют подмывы. Портальные стенки – в неудовлетворительном состоянии, присутствуют значительные разрушения. Укрепление русел из монолитного бетона у оголовков разрушено, частично отсутствует, русла заросшие, частично засыпанные мусором. Состояние звеньев труб неудовлетворительное. Техническое состояние водопропускных труб под автомобильной дорогой неудовлетворительное.

Оценка состояния элементов обустройства автомобильной дороги

Фиксация местоположения элементов обустройства автомобильной дороги выполнялась при проезде ПДЛ в прямом и обратном направлениях. Для детального обследования элементов обустройства использовались курвиметр и мерная лента. (табл. 4). Техническое состояние оценивалось визуально.

Т а б л и ц а 4

Ведомость наличия и технического состояния съездов и пересечений

Местоположение, км		Тип покрытия	Обустройство (есть, нет)		Техническое состояние
справа	слева		Водопронупускная труба	Сигнальные столбики	
1	2	3	4	5	6
0,608	0,608	грунт	нет	нет	неудовл.
-	1,043	грунт	нет	нет	неудовл.
1,314	1,314	асфальтобетон/гравий	нет	нет	неудовл.
2,334	2,334	асфальтобетон/гравий	нет	нет	неудовл.
3,435	3,435	асфальтобетон/гравий	нет	нет	неудовл.
-	5,770	грунт	нет	нет	неудовл.
5,782	-	грунт	нет	нет	неудовл.
	8,572	грунт	нет	нет	неудовл.
8,572		асфальтобетон	нет	нет	неудовл.
9,609	-	грунт	нет	нет	неудовл.
-	10,605	грунт	нет	нет	неудовл.
10,952	-	асфальтобетон	нет	нет	неудовл.
-	11,116	грунт	нет	нет	неудовл.
11,315		асфальтобетон	нет	нет	неудовл.
	11,315	грунт	нет	нет	неудовл.

Заключение: техническое состояние дорожных знаков на автомобильной дороге соответствует требованиям [14]. Техническое состояние съездов и состояние останочного павильона на автомобильной дороге с.Яковлевка – р.п.Тамала – с.Дуровка неудовлетворительные.

Основные выводы и рекомендации

Результаты проведения диагностики и оценки состояния участка автодороги:

1. Категория участка автомобильной дороги IV; ширина асфальтобетонного покрытия составляет 6,0 м, что соответствует требованиям проекта.

2. Максимальное значение продольной ровности, измеренной по полосам движения, по результату проезда ПДЛ, оснащенной ТХК-2, составляет 5715 м/км, что не соответствует нормативам [3].

3. Сцепные свойства дорожного покрытия соответствуют требованиям [5, 9], минимальное значение коэффициента сцепления, измеренного прибором с шиной без рисунка протектора, составляет 0,00 (щебень, разбитый асфальт).

4. Поперечные уклоны, измеренные по полосам движения, не соответствуют требованиям норм [4].

5. Асфальтобетонное покрытие скирковано с 0,000 км по 6,543 км, на дальнейшем участке дороги покрытие разрушено на 85 %.

6. Толщина асфальтового покрытия на участке 6,543-11,300 км составляет 5-15 см.

7. Данная автомобильная дорога «Пензенская область, Тамалинский район – с. Яковлевка» протяженностью участка 11300 м/п подлежит капитальному ремонту.

8. Работы по диагностике состояния автодорог и оценке их транспортно-эксплуатационных показателей должны выполнять только специализированные организации,

снабженные лабораторными передвижными приборами и специальным оборудованием.

9. Необходимо организовать диагностический визуально-инструментальный комплекс, обеспечивающий постоянный визуальный и, при вынужденных обстоятельствах, инструментальный мониторинг состояния системы «дорожная одежда – земляное полотно».

Список литературы

1. Хрянина, О.В. Исследование транспортно-эксплуатационного состояния автомобильной дороги общего пользования на примере улиц Гражданская-Производственная в г. Каменке / О.В. Хрянина, Е.С. Саксонова, Д.В. Абаев // Строительство и архитектура. – 2019. – Т. 7, № 4. – С.68–73. – DOI 10.29039/2308-0191-2019-7-3-62-66.
2. Хрянина, О.В. Оценка эффективности устройства водопропускной трубы при строительстве автомобильной дороги федерального значения / О.В. Хрянина, Е.С. Саксонова, Д.В. Абаев, В.А. Радаев // Строительство и архитектура. – 2019. – Т. 7, № 4. – С.63–67. – DOI 10.29039/2308-0191-2019-7-3-55-61.
3. ГОСТ Р 56925-2016. Дороги автомобильные и аэродромы. Методы измерения неровностей оснований и покрытий. – М.: Стандартинформ, 2019. – 12 с.
4. СП 78.13330.2012. Автомобильные дороги. Актуализированная редакция СНиП 3.06.03-85 (с Изменением N 1). – М.: Минрегион России, 2013. – 68 с.
5. ГОСТ 33078-2014. Дороги автомобильные общего пользования. Методы измерения сцепления колеса автомобиля с покрытием. – М.: Стандартинформ, 2016. – 12 с.
6. ОДМ 218.4.039-2018. Рекомендации по диагностике и оценке технического состояния автомобильных дорог. – М.: Росавтодор, 2018. – 73 с.
7. ОДМ 218.2.024-2012. Методические рекомендации по оценке прочности нежестких дорожных одежд. – М.: Росавтодор, 2013. – 24 с.
8. СП 34.13330.2012. Автомобильные дороги. Актуализированная редакция СНиП 2.05.02-85* (с Изменениями N 1, 2). – М.: Минрегион России, 2013. – 114 с.
9. ГОСТ 30413-96. Дороги автомобильные. Метод определения коэффициента сцепления колеса автомобиля с дорожным покрытием. – М.: Госстрой России. 1997. – 7 с.
10. СП 46.13330.2012. Мосты и трубы. Актуализированная редакция СНиП 3.06.04-91 (с Изменениями N 1, 3, 4). – М.: ООО «Аналитик», 2012. – 142 с.
11. ОДН 218.1.052-2002. Оценка прочности нежестких дорожных одежд. – М.: ГП «Информавтодор», 2003. – 37 с.
12. ГОСТ 33388-2015. Дороги автомобильные общего пользования. Требования к проведению диагностики и паспортизации. – М.: Стандартинформ, 2016. – 12 с.
13. ГОСТ 33220-2015. Дороги автомобильные общего пользования. Требования к эксплуатационному состоянию. – М.: Стандартинформ, 2016. – 11 с.
14. ГОСТ Р 52289-2004. Технические средства организации дорожного движения. Правила применения дорожных знаков, разметки, светофоров, дорожных ограждений и направляющих устройств (с Изменениями N 1, 2). – М.: Стандартинформ, 2006. – 42 с.

References

1. Khryanina, O.V. Study of the transport and operational condition of a public highway using the example of Grazhdanskaya-Produzvodstvennaya streets in the city of Kamenka / O.V. Khryanina, E.S. Saxonova, D.V. Abaev // Construction and architecture. – 2019. – Vol. 7, No. 4. – P.68–73. – DOI 10.29039/2308-0191-2019-7-3-62-66.
2. Khryanina, O.V. Assessing the effectiveness of a culvert during the construction of a federal highway / O.V. Khryanina, E.S. Saxonova, D.V. Abaev, V.A. Radaev // Construction and architecture. – 2019. – Vol.7, No. 4. – P.63–67. – DOI 10.29039/2308-0191-2019-7-3-55-61.
3. GOST R 56925-2016. Roads and airfields. Methods for measuring unevenness of bases and coatings. – М.: Standartinform, 2019. – 12 p.

-
4. SP 78.13330.2012. Car roads. Updated edition of SNIIP 3.06.03-85 (with Amendment No. 1). – M.: Ministry of Regional Development of Russia, 2013. – 68 p.
 5. GOST 33078-2014. Public roads. Methods for measuring the adhesion of a car wheel to a surface. – M.: Standartinform, 2016. – 12 p.
 6. ODM 218.4.039-2018. Recommendations for diagnosing and assessing the technical condition of highways. – M.: Rosavtodor, 2018. – 73 p.
 7. ODM 218.2.024-2012. Methodological recommendations for assessing the strength of flexible road pavements. – M.: Rosavtodor, 2013. – 24 p.
 8. SP 34.13330.2012. Car roads. Updated version of SNIIP 2.05.02-85* (with Amendments No. 1, 2). – M.: Ministry of Regional Development of Russia, 2013. – 114 p.
 9. GOST 30413-96. Roads. Method for determining the coefficient of adhesion between a car wheel and the road surface. – M.: Gosstroy of Russia, 1997. – 7 p.
 10. SP 46.13330.2012. Bridges and pipes. Updated edition of SNIIP 3.06.04-91 (with Amendments No. 1, 3, 4). – M.: LLC «Analyst», 2012. – 142 p.
 11. ODN 218.1.052-2002. Assessment of the strength of non-rigid road pavements. – M.: State Enterprise «Informavtodor», 2003. – 37 p.
 12. GOST 33388-2015. Public roads. Requirements for diagnostics and certification. – M.: Standardinform, 2016. – 12 p.
 13. GOST 33220-2015. Public roads. Requirements for operational condition. – M.: Standardinform, 2016. – 11 p.
 14. GOST R 52289-2004. Technical means of organizing traffic. Rules for the use of road signs, markings, traffic lights, road barriers and guide devices (with Amendments No. 1, 2). – M.: Standardinform, 2006. – 42 p.

СТАНДАРТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ

STANDARDIZATION AND QUALITY MANAGEMENT

УДК 334.7:004(470.40-21)

*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

Филонова Юлия Борисовна,
магистрант

Макарова Людмила Викторовна,
кандидат технических наук, доцент кафедры
«Управление качеством и ТСП»
E-mail: mak.78_08@inbox.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

Filonova Yulia Borisovna,
Master's student

Makarova Lyudmila Viktorovna,
Candidate of Sciences, Associate Professor of the
department of «Quality management and TSP»
E-mail: mak.78_08@inbox.ru

ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ИТ-КОМПАНИЙ (НА ПРИМЕРЕ НАУЧНО- ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ)

Ю.Б. Филонова, Л.В. Макарова

Проведен анализ ИТ-рынка России и Пензенской области. Предложена методика выявления причин малого количества реализуемых на предприятии крупных проектов, учитывающая шесть основных факторов, влияющих на принятие решения о выполнении (отказе от выполнения) проекта, таких, как материально-техническое обеспечение организации, используемые материалы и технологии, персонал, внешняя и внутренняя среда.

Ключевые слова: рынок информационных технологий, проект, причинно-следственный анализ

PROBLEMS AND PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF IT COMPANIES (USING THE EXAMPLE OF A SCIENTIFIC PRODUCTION ENTERPRISE)

Y.B. Filonova, L.V. Makarova

An analysis of the IT market in Russia and the Penza region was carried out. A methodology is proposed for identifying the reasons for the small number of large projects being implemented at an enterprise, taking into account six main factors influencing the decision to implement (refuse to implement) a project, such as the logistics of the organization, the materials and technologies used, personnel, external and internal environment.

Keywords: information technology market, project, cause-and-effect analysis

Отрасль информационных технологий (ИТ) считается одной из наиболее динамично развивающихся. ИТ-отрасль – это сфера экономики, применяющая современные достижения в области технологий, новые ресурсы, коммуникации, осуществляющая сбор, хранение и передачу информации [1].

ИТ-отрасль входит в состав сектора информационно-коммуникационных технологий (ИКТ). Сектор ИКТ включает следующие виды экономической деятельности:

- ИТ-отрасль;
- прочие ИТ-услуги;
- телекоммуникации;
- производство ИКТ;
- оптовую торговлю ИКТ-товарами.

За 2022 г. предприятиями сектора ИКТ было реализовано товаров, выполнено работ и предоставлено услуг на сумму 5418 млрд руб. (рис. 1). Доля ИТ-отрасли в объеме реализованных товаров, работ, услуг сектора ИКТ составляет 40 %, прочих ИТ-услуг – 5,7 %, таким образом, информационные технологии занимают 45,7 % сектора ИКТ [2].

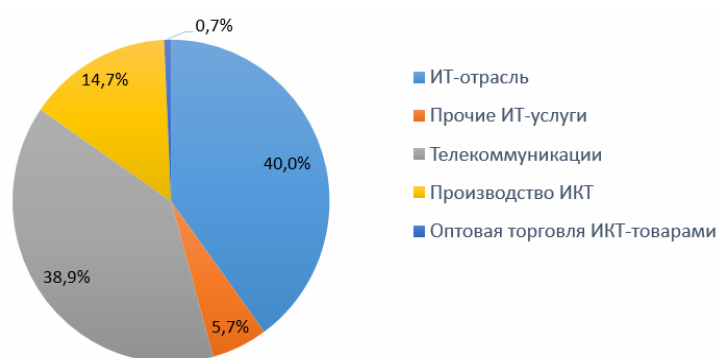


Рис. 1. Сектор ИКТ

В связи с уходом ряда крупнейших зарубежных компаний из страны объем ИТ-рынка в 2022 г. сократился. Данная ситуация дала толчок развитию отечественного ИТ-рынка и увеличению объема инвестиций в эту отрасль. К концу 2022 г. объем ИТ-рынка по сравнению с 2021 г. уменьшился лишь на 5 % (рис. 2), а доходы российских ИТ-компаний в 2022 г. увеличились на 35,3 % (рис. 3) [3].

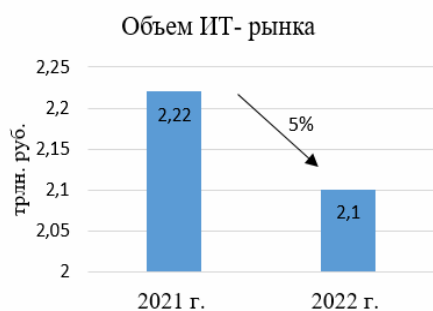


Рис. 2. Объем ИТ-рынка



Рис. 3. Доходы российских ИТ-компаний

ИТ-отрасль включает в себя производство российскими компаниями следующей продукции и услуг в области ИТ:

- разработку программного обеспечения и сервисов на его основе;
- предоставление ИТ-услуг (заказная разработка, проектирование, внедрение и тестирование информационных систем);
- разработку программно-аппаратных комплексов (ПАК) с высокой добавленной стоимостью программной части [4].

В 2022 г. на долю разработки ПО и ИТ-услуг приходилось 40 % ИТ-рынка, производство ИТ-оборудования составляло 60 %. По сравнению с 2021 г. на 11 % произошел рост рынка ПО и ИТ-услуг в связи с импортозамещением ПО, популярностью ИТ-продуктов, создаваемых под задачи конкретных компаний, повышенным спросом на услуги внедрения, интеграции и консалтинга в области информационной безопасности (рис. 4, 5). Сокращение производства ИТ-оборудования было вызвано нарушением традиционных каналов поставок [5, 6].

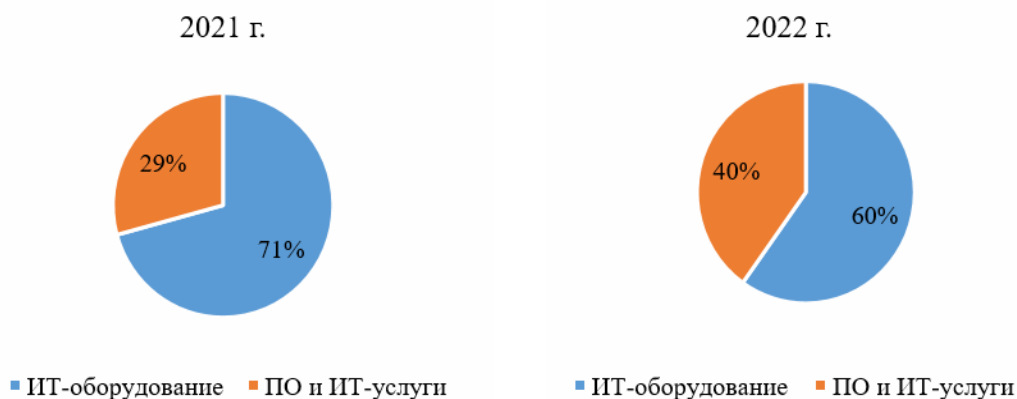


Рис. 4. Рынок ИТ в 2021 г.

Рис. 5. Рынок ИТ в 2022 г.

Развитие рынка ИТ неразрывно связано с научно-техническим развитием. Москва, Санкт-Петербург и Татарстан возглавляют рейтинг (согласно данным Агентства «РИА Рейтинг») российских регионов по развитию науки и технологий. На эти города в 2020 г. приходилось около 37 % выпущенных в стране инновационных товаров, в 2021 г. – около 30 % [7].

Ассоциация «Руссофт» составила рейтинг регионов России по уровню развития софтверной индустрии – лидируют Москва и Санкт-Петербург. Вместе две столицы обеспечивают почти 52 % всех доходов предприятий российской софтверной индустрии. В 2021 г. этот показатель равнялся почти 58 % [8].

Согласно рейтингу российских регионов по научно-техническому развитию и развитию софтверной индустрии, Пензенская область находится на 24-м месте из 89. Количество ИТ-компаний в 2022 г. увеличилось на 24 %. В 2022 г. на долю разработки ПО и ИТ-услуг приходилось 72 % ИТ-рынка Пензенской области, производство ИТ-оборудования составляло 28 % (рис. 6).

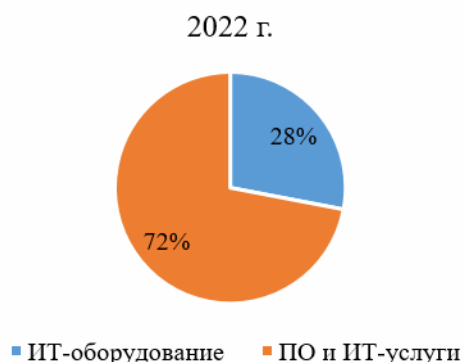


Рис. 6. Рынок ИТ Пензенской области

Таким образом, Пензенская область по научно-техническому развитию и уровню развития софтверной индустрии находится на уровне «выше среднего», ИТ-отрасль развивается, растет число ИТ-компаний, однако наблюдаются нехватка квалифицированных кадров и малое количество крупных проектов.

На примере научно-производственного предприятия (НПП) г. Пензы выявим причины малого количества крупных проектов. НПП осуществляет деятельность в сфере информационных технологий, а именно разработку программного обеспечения и программных аппаратных комплексов. Алгоритм выявления причин отказа НПП от крупных проектов представлен на рис. 7.

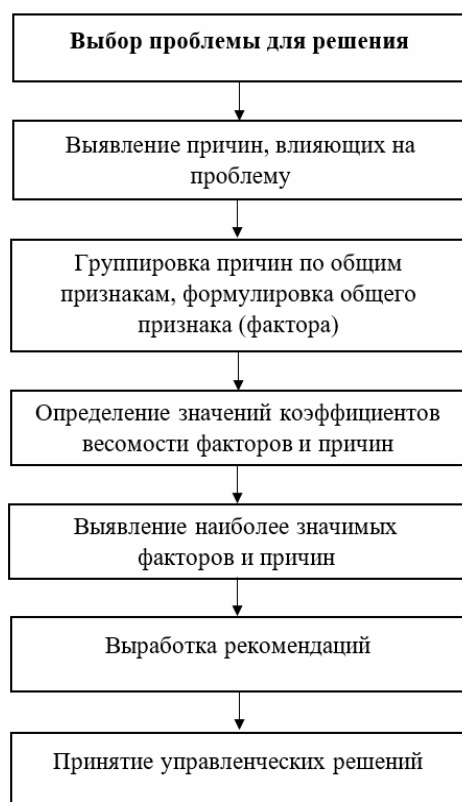


Рис. 7. Алгоритм выявления причин установленной проблемы

В табл. 1 представлены причины, влияющие на принятие решения о выполнении (отказе от выполнения) проекта.

Т а б л и ц а 1

Причины, влияющие на принятие решения о выполнении (отказе от выполнения) проекта

№ п/п	Выявленная причина
1	2
1	Большой процент импортных покупных комплектующих
2	Отсутствие совместимости технических средств и программного обеспечения на некоторых объектах
3	Дефицит отдельных видов покупных комплектующих
4	Недостаточное количество категорированных рабочих мест
5	Недостаточное количество необходимых технических/программных средств
6	Недостаточное количество специальных технических/программных средств
7	Использование неактуальных технических/программных средств
8	Использование изношенных технических средств
9	Использование в основном стандартных технологических процессов
10	Высокая цена покупных комплектующих
11	Наличие на рынке контрафактных покупных комплектующих
12	Нехватка ИТР
13	Применение отдельных устаревших технологий

1	2
14	Требования Заказчиков по обязательной сертификации предприятия и лицензированию деятельности
15	Недобросовестные исполнители
16	Недостаточная квалификация сотрудников
17	Недостаточная взаимозаменяемость сотрудников
18	Отсутствие командной работы
19	Отсутствие плана обучения/повышения квалификации
20	Недостаточная мотивированность сотрудников
21	Отсутствие категорированных рабочих мест для удаленной работы
22	Завышена номенклатура должностей АУП
23	Некорректно сформулированные требования в ТЗ
24	Высокая конкуренция на рынке
25	Возможность изготовления только опытных партий изделий (опытных образцов)
26	Периодическая смена поставщиков
27	Жесткие условия выполнения контрактов
28	Средняя оценка бизнес-имиджа организации
29	Отсутствие долговременной стратегии развития предприятия
30	Отсутствие корректного менеджмента направлений разработки
31	Слабая маркетинговая деятельность предприятия

После проверки состава данных, представленных в табл. 1, было сформулировано шесть основных факторов, влияющих на принятие решения о выполнении (отказе от выполнении) проекта: материально-техническое обеспечение, материалы, технологии, персонал, внешняя среда, внутренняя среда.

Для определения вклада каждого фактора в появление проблемы малого количества крупных проектов был применен метод экспертной оценки. Экспертную группу составили шесть экспертов высокой квалификации, каждый из которых для определения значений коэффициентов весомости произвел ранжирование показателей. Результаты расчётов ранжирования факторов представлены в табл. 2.

Т а б л и ц а 2

Результаты расчёта значений коэффициентов весомости анализируемых факторов

№ п/п	Эксперты						Сумма рангов, $\sum_{i=1}^m a_{ij}$	Отклонение от среднего значения, Δi	$(\Delta i)^2$	M_i
	1	2	3	4	5	6				
1	5,5	5,5	5	5,5	4	5	30,5	9,5	90,25	0,24
2	3,5	4	4	3,5	1,5	2	18,5	-2,5	6,25	0,15
3	3,5	3	3	3,5	5	5	23	2	4	0,18
4	5,5	5,5	6	5,5	6	5	33,5	12,5	156,25	0,27
5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	2	9,5	-11,5	132,25	0,07
6	1,5	1,5	1,5	1,5	3	2	11	-10	100	0,09
\sum							126		489	
T_i	18	12	6	18	6	48				

Согласованность мнений экспертов определялась путём расчёта коэффициента конкордации:

$$\omega = \frac{12S}{n^2(m^3 - m) - n \sum_{j=1}^m T_j}, \quad (1)$$

где n – число экспертов; m – количество показателей качества; T_j – критерий, зависящий от количества объектов (t_j), занимающих одинаковые ранговые позиции,

$$T_j = \sum(t_j^3 - t_j). \quad (2)$$

Установлено, что значение коэффициента конкордации составило $\omega=0,85$, что свидетельствует о высокой согласованности мнений экспертов, соответствующей оценке по лингвистической шкале «очень хорошо», и о возможности использования полученных данных для проведения дальнейшего анализа.

Определение значимости проблем, представленных в каждом из рассматриваемых факторов, осуществлялось аналогичным образом. Согласованность мнений экспертов варьировалась от $\omega=0,83$ до $\omega=0,91$, что соответствует лингвистическим оценкам от «хорошо» до «очень хорошо».

Для проведения причинно-следственного анализа была использована диаграмма Исикавы.

На рис. 8 представлен анализ причин, оказывающих влияние на низкий уровень локализации крупных проектов НПП.



Рис. 8. Причинно-следственный анализ по проблеме малого количества крупных проектов, реализуемых НПП

Согласно проведенному анализу, проблема малого количества крупных проектов в НПП в основном связана с персоналом (27 %) и материально-техническим обеспечением (24 %), а именно нехваткой ИТР, недостаточной квалификацией сотрудников, отсутствием совместимости технических средств и программного обеспечения на некоторых объектах, недостаточным количеством необходимых технических/программных средств. Второстепенными проблемами являются используемые технологии (18 %) и материалы (15 %).

Для решения выявленных проблем необходимо:

- привлекать к работе высококвалифицированных специалистов, организовать обучение сотрудников и повышать их мотивацию;
- наладить процесс своевременного и оптимального материально-технического обеспечения;
- развивать инновационную деятельность предприятия, изучать и применять новейшие технологии;
- осуществлять большее взаимодействие с внешней аудиторией, включая деловых партнеров и потребителей.

Организация должна пересмотреть стратегию и расставить новые приоритеты, связанные с реализацией ИТ-проектов. В связи с этим решение выявленных проблем позволит не только увеличить объем заказов, но и улучшить качество разрабатываемых изделий/оказываемых услуг, а также выйти предприятию на новый уровень дохода.

Список литературы

1. Анализ ИТ-отрасли в Российской Федерации / Э.Р. Кузнецова, С.А. Ванькова, А.Р. Узякаева // Стратегии бизнеса. – 2022. – Т. 10, № 11. – С. 295–297.
2. Институт статистических исследований и экономики знаний. Российский сектор ИКТ: ключевые показатели 2022 года. – URL: <https://issek.hse.ru/mirror/pubs/share/826844484.pdf> (Дата обращения 1.10.2023).
3. ICT.MOSCOW. TAdviser: объем российского ИТ-рынка. – URL: <https://ict.moscow/news/tadviser-obem-rossiiskogo-it-rynka-v-2022-godu-sostavil-2-1-trln-rub/> (Дата обращения 1.10.2023).
4. Министерство цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации. Стратегия развития отрасли информационных технологий в Российской Федерации на 2014–2020 годы и на перспективу до 2025 года. – URL: https://digital.gov.ru/ru/documents/4084/?utm_referrer=https%3a%2f%2fyandex.ru%2f (Дата обращения 1.10.2023).
5. CNews. Санкции больно ударили по рынку ИТ-инфраструктуры. – URL: https://www.cnews.ru/reviews/infrastruktura_2022/articles/rossijskij_rynok_it-infrastruktury (Дата обращения 2.10.2023).
6. Хабр. Аналитики: российский ИТ-рынок вырастет более чем в два раза к 2030 году. – URL: <https://habr.com/ru/news/760202/> (Дата обращения 2.10.2023).
7. РИА НОВОСТИ. Рейтинг российских регионов по научно-технологическому развитию. – URL: <https://ria.ru/20221024/tekhnologii-1826145476.html> (Дата обращения 1.10.2023).
8. РУС СОФТ. Рейтинг регионов России по уровню развития индустрии разработки ПО. – URL: <https://russoft.org/wp-content/uploads/2023/01/Rejting-regionov.pdf> (Дата обращения 1.10.2023).

References

1. Analysis of the IT industry in the Russian Federation / E.R. Kuznetsova, S.A. Van-kova, A.R. Uzyakaeva // Business Strategies. – 2022. – Vol. 10, N. 11. – P. 295–297.
2. Institute of Statistical Research and Knowledge Economics. The Russian ICT sector: key indicators of 2022. – URL: <https://issek.hse.ru/mirror/pubs/share/826844484.pdf> (Date of application 1.10.2023).
3. ICT.MOSCOW. TAdviser: the volume of the Russian IT market. – URL: <https://ict.moscow/news/tadviser-obem-rossiiskogo-it-rynka-v-2022-godu-sostavil-2-1-trln-rub/> (Date of application 1.10.2023).
4. Ministry of Digital Development, Communications and Mass Communications of the Russian Federation. Strategy for the development of the information technology industry in the Russian Federation for 2014–2020 and for the future until 2025. – URL: https://digital.gov.ru/ru/documents/4084/?utm_referrer=https%3a%2f%2fyandex.ru%2f (Date of application 1.10.2023).
5. CNews. Sanctions have hurt the IT infrastructure market. – URL: https://www.cnews.ru/reviews/infrastruktura_2022/articles/rossijskij_rynok_it-infrastruktury (Date of application 2.10.2023).
6. Habr. Analysts: the Russian IT market will more than double by 2030. – URL: <https://habr.com/ru/news/760202/> (Date of application 2.10.2023).
7. RIA News. Rating of Russian regions on scientific and technological development. – URL: <https://ria.ru/20221024/tekhnologii-1826145476.html> (Date of application 1.10.2023).
8. RUS SOFTWARE. Rating of Russian regions by the level of development of the software development industry. – URL: <https://russoft.org/wp-content/uploads/2023/01/Rejting-regionov.pdf> (Date of application 1.10.2023).

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

Максимова Ирина Николаевна,
кандидат технических наук, доцент кафедры
«Управление качеством и технология
строительного производства»
E-mail: maksimovain@mail.ru

Крамор Диана Дмитриевна,
студент
E-mail: kramordiana@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

Maksimova Irina Nikolaevna,
Candidate of Sciences, Assistant Professor of the
department «Management of Quality and
Technology of Construction Production»
E-mail: maksimovain@mail.ru

Kramor Diana Dmitrievna,
Student
E-mail: kramordiana@gmail.com

ПРИМЕНЕНИЕ ИНСТРУМЕНТОВ КАЧЕСТВА – ДИАГРАММЫ ИСИКАВЫ, ДИАГРАММЫ СРОДСТВА, QFD-АНАЛИЗА – НА ПРИМЕРЕ ПРОИЗВОДСТВА ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ЖАРОЧНОГО ШКАФА

И.Н. Максимова, Д.Д. Крамор

На примере производства электрического жарочного шкафа рассмотрено использование наиболее эффективных инструментов, позволяющих повысить конкурентоспособность продукции и предприятия в целом за счет тщательного анализа реальной ситуации и последующей разработки различного рода мероприятий. Построены диаграмма Исикавы, диаграмма сродства, выполнен QFD-анализ: построены четыре «дома качества». Выполнен анализ и названы причины возникновения потерь от брака при производстве продукции.

Ключевые слова: инструменты качества, QFD-анализ, диаграмма Исикавы, диаграмма сродства, «дома качества»

APPLICATION OF QUALITY TOOLS: ISHIKAWA DIAGRAMS, AFFINITY DIAGRAMS, QFD ANALYSIS, USING THE EXAMPLE OF PRODUCTION OF ELECTRIC ROASTING CABINET

I.N. Maksimova, D.D. Kramor

On the example of the production of an electric roasting cabinet, the use of the most effective tools to increase the competitiveness of products and the enterprise as a whole is considered, due to a thorough analysis of the real situation and the subsequent development of various types of measures. Ishikawa diagram, affinity diagram were built, QFD analysis was performed: four «quality houses» were built. The analysis was carried out and the causes of losses from scrap during the production of products were named.

Keywords: quality tools, QFD analysis, Ishikawa diagram, affinity diagram, «quality house»

Эффективное управление выпуском качественной и конкурентоспособной продукции предполагает планирование, управление, обеспечение и улучшение качества. С учетом многообразия инструменты качества принято делить на три большие группы: простые методы; новые инструменты; новейшие инструменты. Требуется учитывать различную результативность инструментов в зависимости от конкретной ситуации и четко понимать, какой из инструментов будет наиболее подходящим, при этом стоит помнить, что, несмотря на то что данные инструменты могут использоваться по

отдельности, наибольшую результативность они показывают при комплексном применении.

Ниже на примере производства электрического жарочного шкафа рассмотрено использование наиболее эффективных инструментов, позволяющих повысить конкурентоспособность продукции и предприятия в целом за счет тщательного анализа реальной ситуации и последующей разработки различного рода мероприятий.

Диаграмма Исикавы. Одним из методов причинно-следственного анализа является диаграмма Исикавы. Ниже представлена диаграмма (рис. 1) для обеспечения качества электрошкафов жарочных. Она позволяет представить соотношения между следствием, результатом и всеми возможными причинами, влияющими на них.

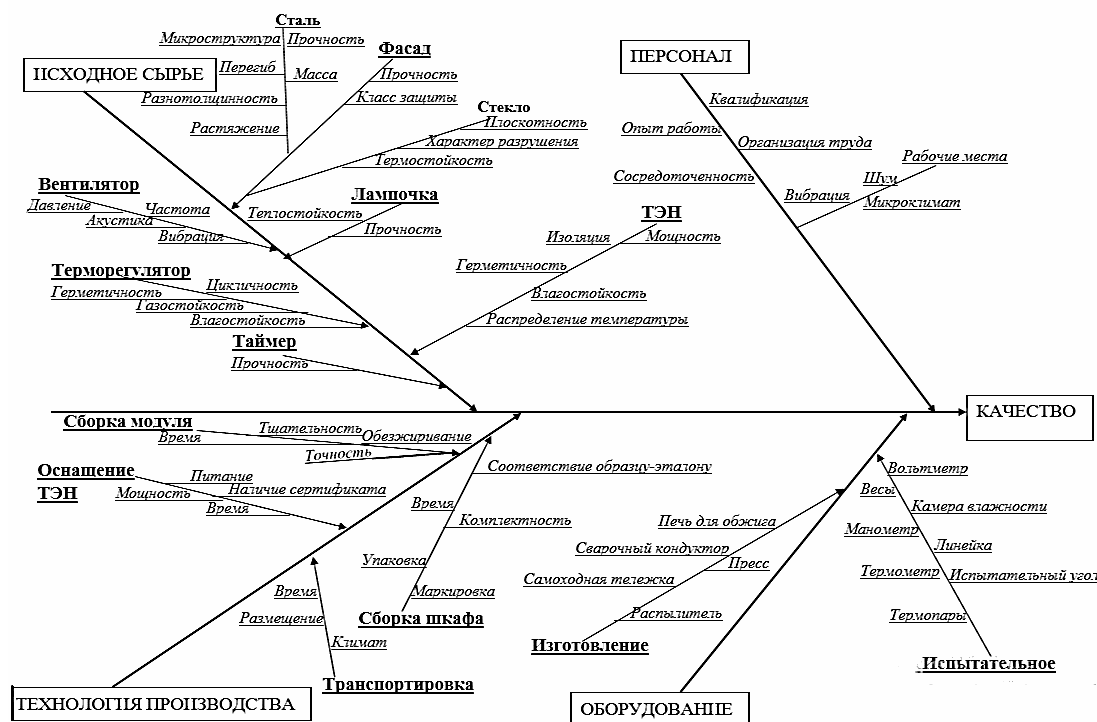


Рис. 1. Диаграмма Исикавы для обеспечения качества электрошкафов жарочных

Были выделены четыре основные ветви составляющих, влияющих на качество продукции: исходное сырье, персонал, технология производства, оборудование. Далее каждая из ветвей рассматривается более подробно. Из ветви «исходное сырье» были выделены составные элементы жарочного шкафа (фасад, лампочка, ТЭН, вентилятор, терморегулятор, таймер), и каждый из элементов далее делился по отдельности. Аналогичным образом ветвь «технология производства» была поделена на отдельные процессы изготовления данной продукции, а «оборудование» было решено разделить на оборудование для изготовления жарочного шкафа и оборудование, с помощью которого жарочные шкафы испытывают.

Главными преимуществами этой диаграммы являются ее легкоосваиваемость и применимость практически во всех областях, она является основой для обсуждения разнообразных причин возникновения проблемы.

Диаграмма сродства. Данный метод предназначен для упорядочивания большого количества качественных данных. Группировка осуществляется по принципу родственности информации. В большинстве случаев диаграмма сродства необходима для обработки результатов «мозгового штурма». Ниже приведен пример диаграммы сродства для решения проблемы причин возникновения потерь от брака при производстве продукции.

1) Рабочая группа методом «мозгового штурма» выявила следующие возможные причины увеличения количества брака: шум на площадке; ошибки в документации; техника выполнения работ; освещение рабочего места; температура рабочего места;

низкая квалификация персонала; отсутствие маркировки; безопасность выполнения работ; опыт персонала; продолжительность рабочей смены; сезон работы; перерывы в работе; мотивация сотрудников; состояние технического оборудования; операционный контроль; входной контроль материалов; приёмочный контроль готовой продукции; наглядность документации.

2) Выполним группировку данных:

1-я группа: ошибки в документации; наглядность документации.

2-я группа: шум на площадке; освещенность рабочего места; температура рабочего места; сезон работы; перерывы в работе.

3-я группа: техника выполнения работ; безопасность выполнения работ.

4-я группа: низкая квалификация; опыт сотрудников; мотивация сотрудников; продолжительность рабочей смены.

5-я группа: состояние технического оборудования; отсутствие маркировки; операционный контроль; входной контроль материалов; приемочный контроль готовой продукции.

3) Выявим общий признак для каждой группы:

– Документация: ошибки в документации; наглядность документации.

– Условия работы: сезон работы; перерывы в работе; продолжительность рабочей смены.

– Организация рабочего места: шум на площадке; освещенность рабочего места; температура рабочего места.

– Рабочие: низкая квалификация; опыт сотрудников; мотивация сотрудников.

– Безопасность: техника выполнения работ; безопасность выполнения работ.

– Средства обеспечения: состояние технического оборудования.

– Контроль: отсутствие маркировки; операционный контроль; входной контроль; приемочный контроль.

В результате было идентифицировано семь групп причин возникновения потерь от брака при производстве продукции. Преимущества данного метода – наглядность и простота использования данных.

QFD-анализ. На вооружении компаний имеются методики сравнения конкурирующих продуктов: бенчмаркинг продуктов и инженерный анализ, или, как его ещё называют, «обратный инжиниринг» (reversed engineering), метод структурирования функции качества QFD (Quality Function Deployment), или метод «домов качества», позволяющий связать технические характеристики продукта с требованиями потребителей и процессом производства и ставший уже стандартом менеджмента качества [1]. Метод представляет собой системный подход к проектированию, который основан на четком понимании потребностей потребителя. Перед развертыванием функции качества стоит главная задача – перевод субъективных показателей качества в набор технических характеристик. Ниже представлен пример (рис. 2-5), в котором определяются основные характеристики разрабатываемого жарочного шкафа с учетом пожеланий потребителя и применением обоснованных решений по управлению качеством процессов его создания.

Построим 1-й «дом качества» (рис. 2), связывающий пожелания потребителей и требования к характеристикам продукции. Ожидания потребителей на первом этапе были определены с применением «мозговой атаки». В частности, были установлены следующие важные критерии: внешний вид, размер, отсутствие дефектов, прочность, низкое электропотребление, простота эксплуатации, быстрое время разогрева.

Также были определены нормативные требования к жарочным шкафам, нормированные в ГОСТ 14919-83: потребляемая мощность, нагрев, внешний вид, влагостойкость, износостойкость, механическая прочность, заземление, теплостойкость, огнестойкость, стойкость к коррозии [2].

Далее для определения рейтинга важности требований для потребителя применяем шкалу от 1 до 5, где 5 – очень ценно, а 1 – не представляет ценности. Также нужно выделить компании-конкуренты и провести сравнительную оценку (каждой компании соответствует определенный цвет согласно табл. 1).

Т а б л и ц а 1

Наша компания	Конкурент 1	Конкурент 2

В результате проведения «мозговой атаки» принято решение, что не требуют улучшения следующие ожидания потребителей: внешний вид, простота эксплуатации, цена, быстрое время разогрева. Этим ожиданиям потребителей были присвоены целевые значения, равные 5.

Далее могут быть вычислены относительные величины степени улучшения качества для каждой характеристики, весомость.

$$\text{Степень улучшения} = \frac{\text{Целевое значение}}{\text{Оценка продукции}}, \quad (1)$$

$$\text{Весомость} = \text{Ожидание} \cdot \text{Степень улучшения}. \quad (2)$$

Сумма всех значений весомостей равна 38,85.

Приняв сумму 38,85 за 100 %, в столбец «весомость, %» поместим (выраженные в процентах) значения весомостей каждого ожидания потребителей.

В результате выявлено, что наиболее важными для потребителя являются следующие характеристики: внешний вид, безопасность, отсутствие дефектов, прочность, цена.

Теперь займемся построением матрицы взаимосвязей, при заполнении элементов (ячеек) матрицы связей для описания силы взаимосвязей используем символы в соответствии с табл. 2.

Т а б л и ц а 2

Символ	Сила взаимосвязи	Весовой коэффициент
•	Сильная	9
о	Средняя	3
Δ	Слабая	1

Для нахождения показателя «суммарная оценка» выполняем следующие действия:

1. Рассчитываем значимость взаимосвязи для элемента (ячейки) на пересечении строк со столбцом.

2. Суммы числовых значений показателей «значимость взаимосвязи» по каждому столбцу (колонке) записываем в строку «суммарная оценка».

Все значения, стоящие в строке «суммарная оценка», были просуммированы. В результате получили итоговую величину 723.

В строке «приоритетность, %» помещены числовые значения (выраженные в процентах от итоговой величины 723) каждой технической характеристики. В частности, технические характеристики «внешний вид», «нагрев», «потребляемая мощность» имеют наиболее высокие приоритеты: 16,74; 15,77; 10,7 и 14,11 соответственно.

Определяем взаимодействие между техническими характеристиками продукции. Сила взаимосвязи между техническими параметрами отображается в элементах (ячейках) треугольной матрицы связей, образующей «крышу» матрицы «дома качества», с использованием символов из табл. 2.

Второй «дом качества» – требования к характеристикам продукции и к качеству исходного сырья (рис. 3) – строится аналогично первому, только центром внимания в данном случае является взаимосвязь между характеристиками шкафа и характеристиками его компонентов, т.е. нормативные требования остаются теми же и в новом «доме» занимают то место, где в первом «доме качества» находились требования потребителей (вертикальный крайний левый столбец), а освободившееся место (верхняя строка) теперь заполняется характеристиками компонентов жарочного шкафа.

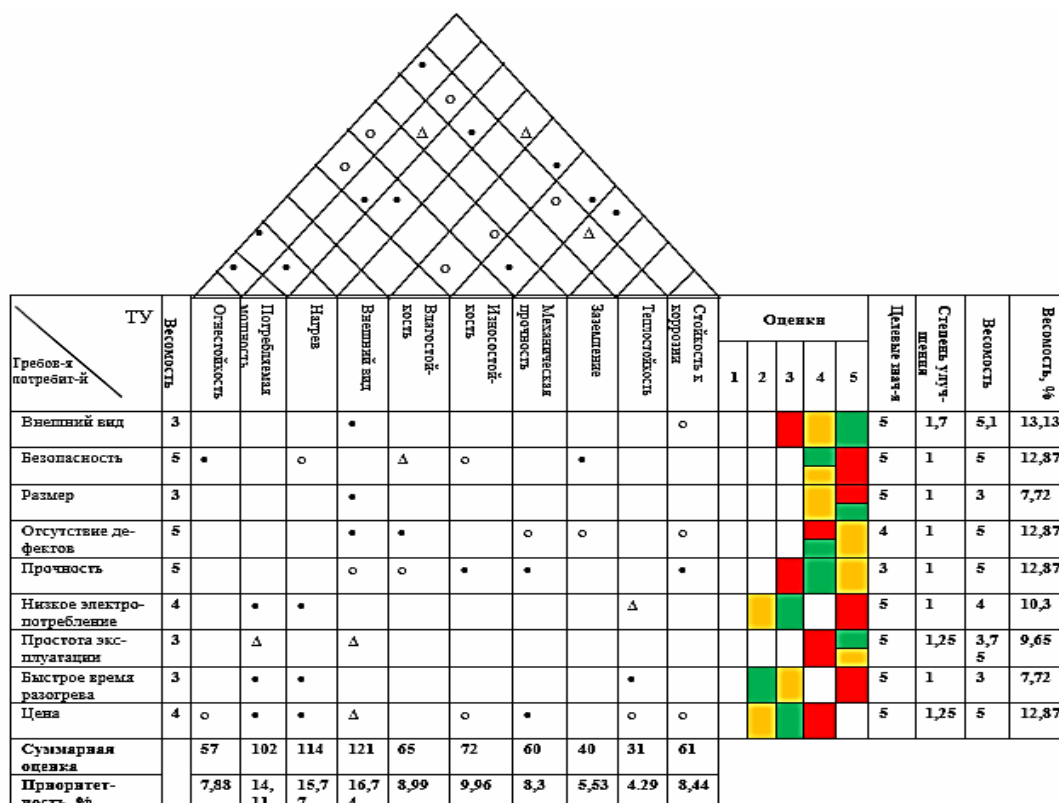


Рис. 2. 1-й «дом качества». Пожелания потребителей и требования к характеристикам продукции

В результате проведения «мозговой атаки» в данном случае принято решение, что не требуют улучшения следующие характеристики продукции: внешний вид, стойкость к коррозии, механическая прочность.

Сумма всех значений весомостей равна 41,6.

В результате выявлено, что наиболее важными являются следующие характеристики: внешний вид, нагрев, теплостокость.

Все значения, стоящие в строке «суммарная оценка», были просуммированы. Получена итоговая величина 979.

Установлено, что среди основных характеристик исходного сырья наибольшей весомостью обладают такие показатели, как мощность ТЭН и прочность стали: 17,16 и 11,03 соответственно.

Третий «дом качества» – требования к качеству исходного сырья и к процессам (рис. 4) – устанавливает связь между требованиями к компонентам электрошкафов и требованиями к характеристикам производственного процесса.

В результате проведения «мозговой атаки» принято решение, что не требуют улучшения следующие характеристики компонентов: структура стали, отклонение от плоскостности у стекла, теплостокость ламп, герметичность ТЭН, влагостокость ТЭН, изоляция ТЭН.

Сумма всех значений весомостей равна 60.

В результате выявлено, что наиболее важными являются следующие характеристики: отклонение от плоскостности, изоляция ТЭН, герметичность ТЭН, структура стали.

Все значения, стоящие в строке «суммарная оценка», были просуммированы. Получена итоговая величина 615.

В результате установлено, что среди основных процессов производства жарочного шкафа наибольшей весомостью обладают такие, как транспортировка, оснащение ТЭН и нарезка стекла: 28,29; 14,15 и 11,7 соответственно.

Характеристики компонентов	Весовость	Сталь					Стекло			ТЭН				Лампы		Оценка					Целевые значения	Степень улучшения	Весовость	Весовость, %	
		Прочность	Масса	Структура	Термостойкость	Прочность	Отделение от плоскости	Мощность	Герметичность	Изоляция	Прочность	Теплостойкость	Индикация	Теплостойкость	Прочность	Оценка									
																1	2	3	4	5					
Огнестойкость	4	*	o		*					*		*										5	1	4	9,62
Потребляемая мощность	4		*							*												3	1	4	9,62
Нагрев	5			o					o	*												5	1	5	12,02
Внешний вид	3		*	*					*													5	1,7	5,1	12,26
Влагостойкость	3			*							*	*										5	1,25	3,8	9,01
Износостойкость	4	*	o	Δ		o		*	Δ				*									5	1	4	9,62
Мех. прочность	4	*				*							*									4	1	4	9,62
Заземление	3								o			*										5	1	3	7,21
Теплостойкость	5			o	*				o			Δ	*									4	1	5	12,02
Стойкость к коррозии	3							*	*													5	1,25	3,8	9,01
Суммарная оценка		108	87	88	81	36	42	168	79	54	83	81	72												
Приоритетность, %		11,03	8,89	8,99	8,27	3,68	4,29	17,16	8,07	5,52	8,48	8,27	7,35												

Рис. 3. 2-й «дом качества». Требования к характеристикам продукции и к качеству исходного сырья

Характеристики процесса	Весовость	Характеристики компонентов							Оценка					Целевые значения	Степень улучшения	Весовость	Весовость, %								
		Стекло	ТЭН	Лампы	Транспорт-ровка	Монтаж	Освещение	Нагрев	Объект мо-дунг	Сборка всего модуля	Навесные лампы	Объемная форма	Прочность сварочных швов					Сварка корпуса	Степень подготовки	Оценка					
																				1	2	3	4	5	
Прочность	5	*	Δ		o			*				*										5	1	5	8,33
Масса	4	o			o		Δ		o	*												3	1	4	6,67
Структура	3		o	*	o	o	o		o													5	1,7	5,1	8,5
Термостойкость	5									Δ												4	1	5	8,33
Прочность	5							*		*												4	1	5	8,33
Отделение от плоскости	3								*	o												5	2,5	7,5	12,5
Мощность	5							*														4	1	5	8,33
Герметичность	3								*	o												5	1,7	5,1	8,5
Влагостойкость	3									Δ	o											5	1,25	3,75	6,25
Изоляция	4									o	Δ	o										5	1,7	6,8	11,33
Теплостойкость	3																					5	1,25	3,75	6,25
Прочность	4										o	*										5	1	4	6,67
Суммарная оценка		57	14	27	36	9	9	57	13	72	87	60	174												
Приоритетность, %		9,27	2,3	4,39	5,85	1,46	1,46	9,27	2,11	11,7	14,15	9,8	28,29												

Рис. 4. 3-й «дом качества». Требования к качеству исходного сырья и к процессам

Четвертый «дом качества», связанный с характеристиками процесса и характеристиками оборудования (рис. 5), устанавливает связь между характеристиками производственного процесса и характеристиками оборудования.

В результате проведения «мозговой атаки» принято решение, что не требуют улучшения следующие характеристики процессов: обезжиривание, нанесение эмали, нарезка стекла, монтаж, сварка контуров.

Сумма всех значений весомостей равна 57,85.

В результате выявлено, что наиболее важными являются следующие характеристики: обезжиривание, нарезка стекла, сварка контуров.

Все значения, стоящие в строке «суммарная оценка», были просуммированы. Получена итоговая величина 1053.

В строке «приоритетность, %» помещены числовые значения (выраженные в процентах от итоговой величины 1053) каждой характеристики оборудования. В результате установлено, что среди основных характеристик оборудования и персонала наибольшей весомостью обладают такие, как сосредоточенность рабочих, тоннаж пресс-тормоза и наличие транспорта: 15,86; 10,83 и 8,26 соответственно.

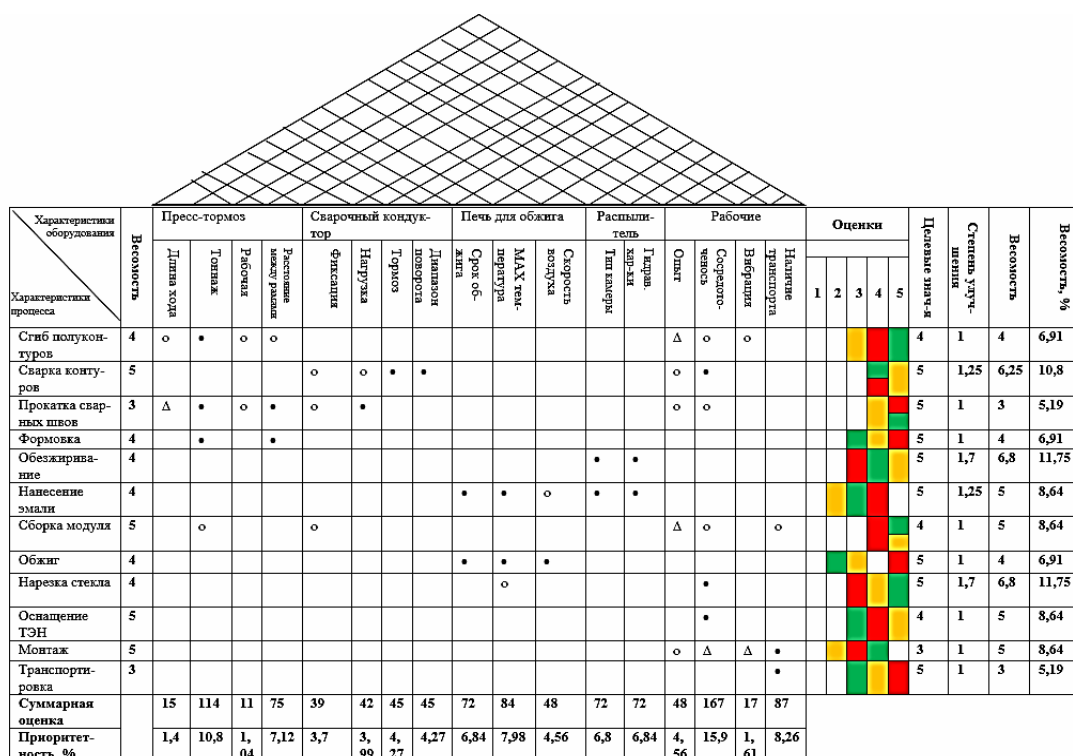


Рис. 5. 4-й «дом качества». Требования к характеристикам процесса и характеристикам оборудования

Рассмотрев три инструмента качества разных видов, мы смогли оценить конкурентоспособность продукции и предприятия в целом для дальнейшего ее повышения.

При рассмотрении диаграммы Исикавы можно представить соотношение между следствием, результатом и всеми возможными причинами, которые влияют на них и к которым относятся персонал, оборудование, технология производства и исходное сырье.

При рассмотрении диаграммы сродства при производстве продукции на этом же предприятии было идентифицировано семь групп причин возникновения потерь от брака при производстве продукции, хотя и стоит отметить, что распределение данных в некоторых случаях можно считать субъективным.

Развертывание функции качества (QFD-анализ) позволило установить, что:

- технические характеристики продукции – внешний вид, нагрев, потребляемая мощность – имеют наиболее высокие приоритеты;
- среди основных характеристик исходного сырья наибольшей весомостью обладают такие показатели, как мощность ТЭН и прочность стали;

-
- среди основных процессов производства жарочного шкафа наибольшей весомостью обладают такие, как транспортировка, оснащение ТЭН и нарезка стекла;
 - среди основных характеристик оборудования и персонала наибольшей весомостью обладают такие, как сосредоточенность рабочих, тоннаж пресс-тормоза и наличие транспорта.

Важным условием выхода предприятия на рынок с конкурентоспособной продукцией (услугой) является ее качество. В связи с этим необходимо глубокое освоение методов оценки и управления качеством продукции и всевозможных услуг.

Список литературы

1. Лоренс П. Сулливан. Структурирование функции качества (оригинал L.P.Sullivan «Quality Function Deployment». – June 1986. – P. 39–50).
2. ГОСТ 14919-83. Электроплиты, электроплитки и жарочные электрошкафы бытовые. Общие технические условия. – М., 1983.

Referenses

1. Lawrence P. Sullivan. Structuring the quality function (original by L.P.Sullivan «Quality Function Deployment». – June 1986. – P. 39–50).
2. GOST 14919-83. Electric stoves, electric stoves and electric frying cabinets for household. General technical conditions. – М., 1983.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ И КОМПЛЕКСЫ ПРОГРАММ

MATHEMATICAL MODELING, NUMERICAL METHODS AND SOFTWARE PACKAGES

УДК 004.72

*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

Васин Леонид Анатольевич,
кандидат технических наук, доцент,
зав. кафедрой «Информационно-
вычислительные системы»
E-mail: leo@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

Vasin Leonid Anatolievich,
Candidate of Sciences, Associate Professor,
Head of the Department «Information-
and Computing Systems»
E-mail: leo@pguas.ru

ОРГАНИЗАЦИЯ КОМПЬЮТЕРНОЙ СЕТИ НА ОСНОВЕ УПРАВЛЯЕМОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Л.А. Васин

Переход на отечественное сетевое оборудование ставит задачу полной замены иностранного коммутирующего и маршрутизирующего оборудования на всех уровнях иерархической модели. Для эффективной реализации компьютерной сети необходимо выбрать необходимые модели оборудования и провести работы по их настройке. Показана структурная организация компьютерной сети, используемой в информационной системе университета. Приведены примеры настройки сетевого оборудования.

Ключевые слова: сетевое оборудование, управляемые коммутаторы, маршрутизаторы, конфигурация, порты, Элтекс, VLAN

ORGANIZATION OF A COMPUTER NETWORK BASED ON CONTROLLED EQUIPMENT

L.A. Vasin

The transition to domestic network equipment poses the task of completely replacing foreign switching and routing equipment at all levels of the hierarchical model. To effectively implement a computer network, it is necessary to select the necessary equipment models and carry out work to configure them. The work shows the the structural organization of the computer network used in the university information system is shown. Examples of setting up network equipment are given.

Keywords: network equipment, managed switches, routers, configuration, ports, Eltex, ACL, QoS, VLAN

Введение

Система передачи данных является основным компонентом информационной системы (ИС) и включает в себя проводные и беспроводные технологии. Для обеспечения передачи данных необходимо разработать многоуровневую систему управления коммутацией трафика на физическом уровне, а также сетевым трафиком на сетевом уровне с использованием технологии VLAN. Технология VLAN позволяет разделить сеть на виртуальные сегменты, которые могут быть настроены и управляемы независимо друг от друга [1].

Для реализации многоуровневой системы управления коммутацией трафика на физическом уровне можно использовать различные коммутаторы и маршрутизаторы, которые поддерживают различные протоколы маршрутизации и коммутации.

Для создания системы, которая отвечает необходимым требованиям, можно использовать оборудование Eltex с поддержкой необходимых функций и настроить его с помощью специальных программных средств. Распространенным вариантом организации сети является топология «звезда» с центральным коммутатором. Она обеспечивает хорошую производительность и легко масштабируется при увеличении числа устройств в сети. Каждый компьютер подключается непосредственно к коммутатору, что обеспечивает высокую скорость передачи данных между устройствами.

Для связи между корпусами университета используется межкорпусной сегмент линий связи, который может быть реализован различными способами, такими, как оптоволоконные кабели или радиосвязь. Для эффективной работы сети важно правильно разделить ее на подсети с учетом организации и структуры университета. Кроме того, для повышения производительности и надежности сети может использоваться балансировка нагрузки между несколькими коммутаторами, а также установка резервных каналов связи. На рис. 1 представлена структурная схема локальной сети.

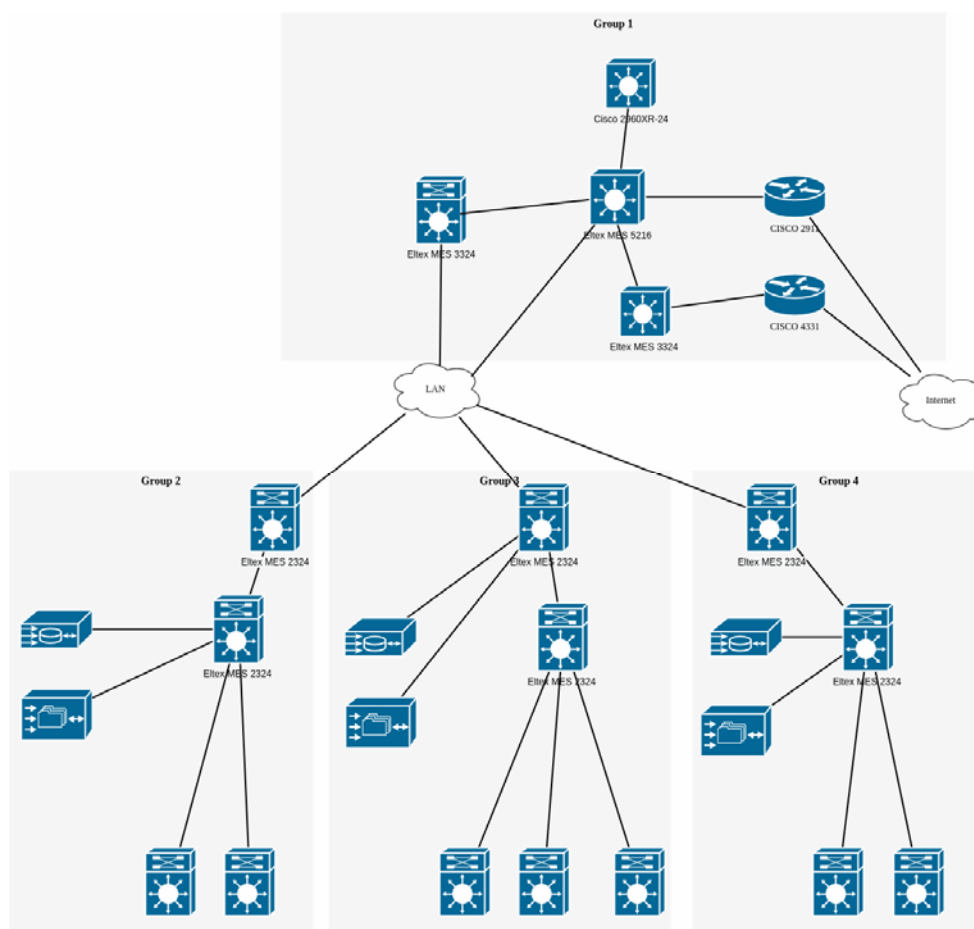


Рис. 1. Структурная схема компьютерной сети

Сеть состоит из трех сегментов: корневого (ядра), распределения и доступа. Каждый из этих сегментов имеет свою структуру и устройства и выполняет свои задачи в сети.

Корневой сегмент является центральным узлом сети, который обеспечивает связь между различными сегментами и управляет трафиком. В нем используются маршрутизаторы, коммутаторы, серверы и другие устройства для обеспечения высокой доступности и надежности сети.

Сегмент распределения обеспечивает связь между корневым сегментом и сегментом доступа. Здесь применяются маршрутизаторы, коммутаторы и другие устройства, которые управляют трафиком между различными сегментами сети [2].

Сегмент доступа связывает конечные устройства, такие, как компьютеры, принтеры и другие устройства, с сегментом распределения. В нем используются коммутаторы, хабы и другие устройства для обеспечения связи между конечными устройствами и сегментом распределения.

Такая структура сети позволяет разделить ее на более мелкие сегменты, что упрощает управление и обеспечивает более эффективное использование ресурсов. Однако она может потребовать более сложной конфигурации и управления для обеспечения правильной связи между сегментами и контроля трафика на границах сегментов [3].

В рассматриваемой локальной сети используются серверы приложений фирмы DEPO, модель DEPO Storm 2250N5. Эти серверы выполняют функции файловых серверов и имеют некоторые особенности, такие, как повышенная производительность и гибкость для удобного расширения. Они помещаются в однопакетных корпусах.

Архитектура сети основана на иерархической модели компьютерной сети, включающей уровни ядра, распределения и доступа. Каждый уровень отвечает за определенные функции, что упрощает управление, повышает производительность и надежность сети, а также обеспечивает гибкое управление безопасностью и контроль доступа пользователей.

Среда передачи данных в этой сети основана на оптоволоконных одномодовых кабелях, которые обеспечивают высокую скорость передачи данных до 10 Гбит/сек [4].

Уровень ядра

Уровень ядра представляет собой центральную часть сети, где происходит коммутация Ethernet-пакетов. Он является устройством доступа к услугам сети и обеспечивает подключение клиентов. В данной локальной сети используется коммутатор Eltex MES 5316A (рис. 2). Этот коммутатор является 10-гигабитным Ethernet-коммутатором агрегации и имеет 4 порта 10G SFP+ для uplink-подключений и 48 портов SFP с увеличенной плотностью для downlink-интерфейсов, которые поддерживают гигабитную скорость Ethernet. Коммутатор Eltex MES 5316A поддерживает протоколы ITU-T G.8031/2 для обеспечения защиты и резервирования в кольцевой или линейной конфигурации, а также поддерживает EAPS (Ethernet Automatic Protection Switching).

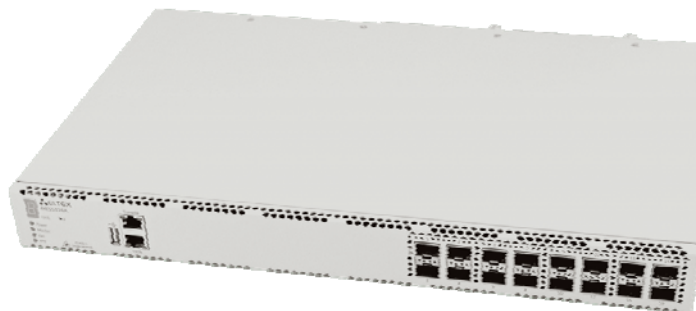


Рис. 2. Многоуровневый коммутатор L3 Eltex MES 5316A

Коммутаторы MES5316A представляют собой устройства высокой производительности, которые используются в операторских сетях и центрах обработки данных. Они обеспечивают высокую пропускную способность и поддерживают различные типы интерфейсов, что делает их идеальным выбором для средних и крупных сетей. Они также обладают функциями маршрутизации и безопасности для эффективного управления трафиком и защиты сети.

Уровень агрегации

Уровень агрегации в сети отвечает за распределение трафика между ядром сети и абонентами. Для этого уровня сети обычно используются L3-коммутаторы, которые способны выполнять функции маршрутизации и обеспечивать более сложные сетевые возможности.

Уровень доступа представляет собой точку клиентского доступа к сети. В этом уровне часто применяются простые L2-коммутаторы, которые обеспечивают основные функции коммутации и соединения устройств в сети.

Коммутатор MES3324 разработан для использования в операторских сетях в качестве коммутатора уровня агрегации района или транспортного коммутатора. Он обладает высокой производительностью благодаря своим универсальным интерфейсам, что позволяет эффективно обрабатывать и распределять трафик в сети (рис. 3).



Рис. 3. Коммутатор агрегации второго уровня Eltex MES3324

Коммутатор Eltex MES3324, производимый компанией Eltex, представляет собой коммутатор уровня доступа с 24 портами. Благодаря своим характеристикам он является подходящим выбором для небольших и средних сетей, где требуется высокая пропускная способность и поддержка основных функций управления, безопасности и маршрутизации. Он также обладает гибкостью в выборе типа интерфейсов благодаря комбо-портам, которыми могут служить как порты 10/100/1000BASE-T Ethernet, так и порты SFP. Это позволяет адаптировать коммутатор под конкретные требования и потребности сети.

Уровень доступа

Основная задача устройства уровня доступа – предоставление доступа рабочим станциям и серверам к следующему уровню (распределения) иерархии. В большинстве случаев уровень доступа представлен в сети коммутаторами второго уровня. Выбор коммутатора уровня доступа основывался на таких критериях, как оптимальная цена и технические характеристики. Для сети используются коммутаторы второго уровня (L2) Eltex MES 2324 (рис. 4).



Рис. 4. Коммутатор (switch) второго уровня Eltex MES 2324

Eltex MES 2324 – это коммутатор уровня доступа производства компании Eltex с 24 портами. Эти характеристики делают Eltex MES 2324 подходящим выбором для небольших сетей, где требуется базовая функциональность управления, безопасности и маршрутизации. Коммутатор обеспечивает достаточную пропускную способность для подключения устройств с низкой скоростью, таких, как IP-телефоны, камеры видеонаблюдения и другие устройства уровня доступа.

Использование коммутационного оборудования отечественного производителя Eltex в многоуровневой компьютерной сети предоставляет ряд преимуществ, в том числе позволяет создать структурную организацию, обеспечивающую высокоскоростную передачу данных в рамках многоуровневой сети. Эти коммутаторы могут служить основой для размещения серверов приложений электронной информационной образовательной среды университета.

Использование коммутаторов Eltex в многоуровневой компьютерной сети обеспечивает повышенную производительность, надежность, гибкость и расширенные функциональные возможности, а также высокую скорость передачи данных, что особенно важно для обеспечения эффективной работы серверов приложений в образовательном университетском окружении. Кроме того, коммутаторы Eltex характеризуются надежностью и стабильностью работы, что минимизирует возможность сбоев и обеспечивает непрерывность сетевой инфраструктуры.

Гибкость и функциональность коммутаторов Eltex позволяют настроить сеть в соответствии с требованиями организации. Они поддерживают различные функции, включая виртуальные локальные сети (VLAN), высокий уровень качества обслуживания (QoS) и механизмы безопасности, что обеспечивает эффективное управление сетевым трафиком и защиту данных.

Однако перед выбором и внедрением коммутаторов Eltex рекомендуется провести тщательный анализ требований и особенностей сети. Важно проверить их совместимость с существующей инфраструктурой и учесть специфические потребности организации, чтобы обеспечить наилучшее соответствие и оптимальное функционирование сети.

Выводы

Коммутаторы Eltex обладают рядом преимуществ:

1. Улучшенная производительность. Коммутаторы Eltex обладают высокой производительностью и поддерживают передачу данных на высокой скорости. Это позволяет обеспечить быструю и эффективную коммутацию данных между устройствами в сети, улучшая ее общую производительность.

2. Надежность и стабильность. Коммутаторы Eltex известны своей надежностью и стабильностью работы. Они обеспечивают стабильное соединение между устройствами и минимизируют возможность сбоев в работе сети. Это особенно важно в многоуровневой сети, где надежность играет ключевую роль.

3. Гибкость и масштабируемость. Коммутаторы Eltex предлагают различные модели и конфигурации, позволяющие адаптировать сетевую инфраструктуру под конкретные потребности организации. Они обладают гибкими функциями настройки и масштабирования, что позволяет легко расширять и управлять сетью при необходимости.

4. Расширенные функциональные возможности. Коммутаторы Eltex обычно поддерживают широкий спектр функций, таких, как виртуальные локальные сети (VLAN), качество обслуживания (QoS), безопасность и контроль доступа. Это позволяет эффективно управлять сетевым трафиком, обеспечивать защиту данных и настраивать сеть в соответствии с требованиями организации.

5. Поддержка современных стандартов и протоколов. Коммутаторы Eltex поддерживают современные стандарты и протоколы, такие, как Ethernet, IPv4/IPv6, Spanning Tree Protocol (STP) и другие. Это обеспечивает совместимость с другими устройствами и возможность интеграции в существующую сетевую инфраструктуру.

6. Поддержка управления и мониторинга. Коммутаторы Eltex предлагают возможности удаленного управления и мониторинга, что облегчает администрирование и обслуживание сети. Они часто поддерживают протоколы управления, такие, как SNMP (Simple Network Management Protocol), что позволяет эффективно контролировать и настраивать работу коммутаторов.

Список литературы

1. Олифер, В.Г. Стратегическое планирование сетей масштаба предприятия / В.Г. Олифер, Н.А. Олифер [и др.]. – 3-е изд. – М.: Центр Информационных Технологий, 2010. – 680 с.
2. Олифер, В.Г. Компьютерные сети: принципы, технологии, протоколы / В.Г. Олифер, Н.А. Олифер [и др.]. – 4-е изд. – СПб: «Питер», 2012. – 958 с.
3. Ретана, А. Принципы проектирования корпоративных IP сетей: пер. с англ. / А. Ретана, Д. Слайс, Р. Уайт, – М.: «Вильяс», 2012. – 368 с.
4. Семенов, А.Б. Структурированные кабельные системы /А.Б. Семенов [и др.]. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Лайт Лтд, 2013. – 607 с.

References

1. Olifer, V.G. Strategic planning of enterprise-scale networks / V.G. Olifer, N.A. Olifer [et al.]. – 3rd ed. – M.: Center for Information Technologies, 2010. – 680 p.
2. Olifer, V.G. Computer networks: principles, technologies, protocols / V.G. Olifer, N.A. Olifer [et al.]. – 4th ed. – St. Petersburg: “Peter”, 2012. – 958 p.
3. Retana, A. Principles of designing corporate IP networks: trans. from English / A. Retana, D. Slice, R. White. – M.: “Villas”, 2012. – 368 p.
4. Semenov, A.B. Structured cable systems / A.B. Semenov [et al.]. – 3rd ed., revision and additional – M.: Light Ltd, 2013. – 607 p.

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

Кувшинова Ольга Александровна,
старший преподаватель кафедры
«Информационно-вычислительные системы»
E-mail: oly791702@mail.ru

Уральский федеральный университет имени
первого президента России
Б.Н. Ельцина

Кувшинова Елена Васильевна,
студентка,
E-mail:kuvsinovae793@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

Kuvshinova Olga Aleksandrovna,
Senior lecturer of the Department «Information
and Computing Systems»
E-mail: oly791702@mail.ru

*Ural Federal University named after the first
President of Russia B.N. Yeltsin*

Kuvshinova Elena Vasilevna,
Student
E-mail:kuvsinovae793@gmail.com

ПРИМЕНЕНИЕ ЦЕЛОЧИСЛЕННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ СЕГМЕНТОВ В 3D-МОДЕЛИ РАЙОНОВ ПОЛЕТА

О.А. Кувшинова, Е.В. Кувшинова

Инструменты сегментации и классификации предоставляют объектно-ориентированный подход к извлечению объектов из изображений. Эти объекты создаются с помощью процесса сегментации изображения, где пиксели, находящиеся в непосредственной близости и имеющие аналогичные спектральные характеристики, группируются в сегмент. Сегменты, обладающие определенными формами, спектральными и пространственными характеристиками, могут быть дополнительно сгруппированы в объекты.

Ключевые слова: сегмент, компьютерный генератор изображения, сцена визуализации, авиационный тренажер

DEVELOPMENT OF COMBINATORIAL ALGORITHMS FOR AUTOMATED EVERYTHING OF VARIANTS OF TECHNOLOGICAL PROCESSING OF AN AIR COMMUNICATION FLIGHT

О.А. Kuvshinova, Е.В. Kuvshinova

The rapid development of information technology has significantly increased the level of use of mathematical methods in planning flight processes. In particular, it became possible to use mathematical modeling for the development of automated transport service planning systems. Automated systems will make it possible to realize reserves in the field of planning and management for timely, high-quality and complete satisfaction of requests, both for the production departments of the enterprise and for marketing.

Keywords: aircraft, algorithm, route

Одна из задач синтеза, которую видит оператор, управляя информационной моделью летательного аппарата, решается с помощью специализированной информационной системы, получившей название компьютер генератора изображений (КГИ) [1]. КГИ входит в состав имитатора визуальной обстановки (ИВО) [2] – специализированной программной технической системы, обеспечивающей операторам летательного аппарата визуально наблюдаемое изображение модели видимой части окружающей среды. Снижение стоимости вычислительной техники привело в возмож-

ности использовать в качестве специализированной вычислительной системы во всех имитаторах однотипные компьютерные генераторы изображения. Однако использование однотипных компьютерных генераторов изображения не решает поставленной задачи – обеспечить совмещение трёх изображений модели окружающего пространства при полётах на авиационном тренажёре над моделью заданного участка местности размером не менее чем 400×400 км, что необходимо для решения навигационных задач [3].

Начиная с прошлого века и по настоящее время предпринимаются многочисленные попытки разработать методику деления всей модели районов полета на сегменты, подсегменты и т.д., что могло бы обеспечить решение задач навигации с помощью получения непрерывного изображения модели местности при полете над ней модели летательного аппарата от одного поворотного пункта маршрута (ППМ) к другому.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Первоначально авиационный тренажер (АТ) разрабатывался для обучения лётчика навыкам пилотирования в естественных условиях [4]. Это объяснялось необходимостью минимизации ущерба от недостаточной подготовки лётчика и ограниченными техническими характеристиками программно-технических средств [5], используемых конструкторами при разработке имитаторов. Обязательное применение АТ при обучении и восстановлении у лётчика навыков пилотирования позволило снизить число катастроф летательных аппаратов и предпосылок к лётным происшествиям.

Однако в полёте лётчик должен решать задачи не только пилотирования летательного аппарата, но и самолетовождения. В гражданской авиации значительную часть решения задач самолетовождения берут на себя наземные службы, в других случаях лётчик должен сам решать навигационные задачи. Для обучения лётчика части задач самолетовождения и работе с бортовым оборудованием были дополнительно разработаны специализированные тренажёры, ориентированные на узкий круг решаемых задач. В то же время более актуальной является задача решения навигационных задач с визуальной ориентацией по реперным объектам. Однако для её решения при полётах на АТ необходимо разработать 3D-модель большого района полётов (размером не менее чем 400×400 км), достаточно насыщенную 3D-моделями реперных объектов, расположенных в соответствии с картой 3D-района полётов [6].

Исследования показали, если не делить 3D-район полета на сегменты, то на всю площадь 3D-модели будет использоваться то количество примитивов, которые создали разработчики КГИ.

Если разделить площадь размером 400 × 400 км на сегменты размером 1 км², то для того чтобы охватить их в охватывающую сферу одного типа, понадобится 400 × 400 = 160000 примитивов при производительности КГИ 16000. Примитивы, попавшие в пирамиду видимости в режиме реального времени, будут затрачивать производительность на проверку активности, а на синтез визуализации реперных объектов ее не остается. Если разбить сцену визуализации на отрезки по 40 км при дальности 30 км, на первом этапе будут активны четыре сегмента. Тогда для нахождения количества визуальных примитивов надо использовать все реперные объекты

$$K_{pr}^v = N - 1600 - 100 \frac{(N - 1600 - 5)}{4},$$

где N – количество реперных объектов, попавших в пирамиду видимости; S – площадь сцены визуализации (40×40 км); A_s – площадь активного сегмента (10 × 10 км).

Моделирование районов полетов, позволяющих использовать максимальное количество примитивов визуально наблюдаемых реперных объектов, видимых при полетах над землей, является задачей исследования операций [7].

В большинстве разрабатываемых сейчас сцен визуализаций не требуется 100 % покрытия сегментами более высокого уровня сегментов более низкого уровня, так как большинство авиационных тренажёров разработано для обучения профессиональным навыкам пилотирования, и визуально наблюдаемое изображение модели внешней среды необходимо только при обучении визуальной посадке на модель взлетно-посадочной полосы (ВПП).

Синтез во время полёта на авиационном тренажере на 2D-экране части 3D-модели района полётов, попавшего в пирамиду видимости, осуществляется с помощью КГИ по алгоритмам машинной графики (рис. 1).

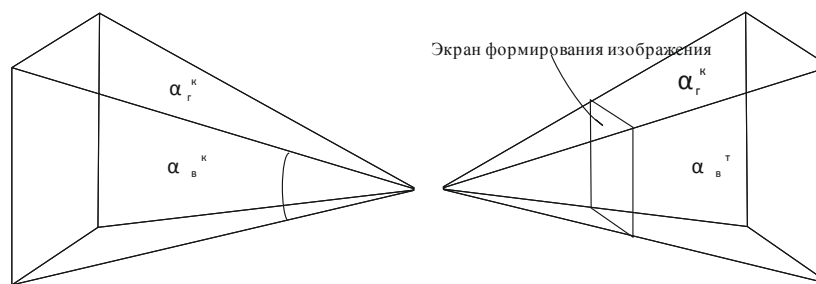


Рис. 1. Пирамида видимости в 3D-модели района полета

В качестве исходных данных используются визуальные и управляющие примитивы. Все примитивы размещены в строго заданных местах 3D-модели района полётов. Две модели, одинаковые по внешнему виду 3D-объектов, отличаются друг от друга разными координатами 3D-полигонов и хранятся в разных сегментах базы данных КГИ. На первом этапе синтеза 3D-изображений сценарный процессор КГИ выбирает из базы данных (структура которой задаётся сегментами) все примитивы, необходимые, чтобы получить 3D-модель объекта, в зависимости от расположения камеры наблюдения над 3D-моделью района полётов. Конструкции всех видимых 3D-моделей и моделей огней, а также варианты их окраса, разрабатывают конструкторы 3D-модели района полётов и описывают их в виде 3D-полигонов и моделей огней, которые размещены на подстилающей поверхности 3D-модели района полётов.

В большинстве АТ достаточно точно моделируется только район аэродрома размером не более чем 15×15 км, в центре 3D-модель ВПП. В то время как размер 3D-модели района полётов задаётся от 400×400 км до 1500×1500 км. Будем считать, что вся 3D-модель района полётов – это сегмент нулевого уровня S^0 (рис. 2).

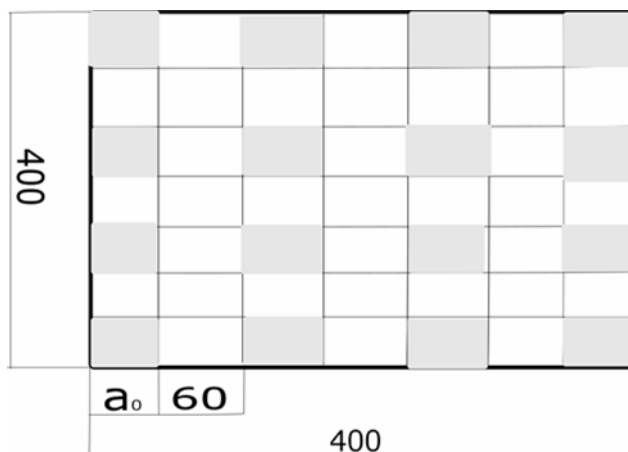


Рис. 2. Район полета на нулевом уровне сегмента:

a_0 – размер в километрах стороны квадрата или катета прямоугольного треугольника, которые определяют вид сегмента первого уровня

Нулевой сегмент может делиться на сегмент первого уровня S_i^1 , сегменты второго уровня могут делиться на сегменты третьего уровня S_{ijk}^3 , сегменты третьего уровня могут делиться на сегменты четвертого уровня S_{ijkp}^4 и т.д.

Для упрощения вычислений примем:

– сегменты одного уровня равны по занимаемой ими площади:

$$\begin{aligned} S_i^1 &= S_{i+1}^1 \dots \\ S_{i,j}^2 &= S_{i,j+1}^2 = S_{i,j+2}^2 = \dots \\ S_{i,j,k}^3 &= S_{i,j,k+1}^3 = S_{i,j,k+2}^3 = S_{i,j,k+3}^3 = \dots \\ S_{i,j,k,p}^4 &= S_{i,j,k,p+1}^4 = S_{i,j,k,p+2}^4 = S_{i,j,k,p+3}^4 = S_{i,j,k,p+4}^4 = \dots \end{aligned} \quad (1)$$

– сегменты более низкого уровня делятся на четыре сегмента следующего уровня:

$$S_i^{(k)} = S_{i,j}^{(n+1)} \cup S_{i,j+1}^{(n+1)} \cup S_{i,j+2}^{(n+1)} \cup S_{i,j+3}^{(n+1)}. \quad (2)$$

$$S_{i,j}^{(q)} = S_{i,j,k}^{(v+1)} \cup S_{i,j,k+1}^{(v+1)} \cup S_{i,j,k+2}^{(v+1)} \cup S_{i,j,k+3}^{(v+1)}. \quad (3)$$

Сегмент нулевого уровня делится на рассчитанное заранее число сегментов первого уровня с целью решения на первом этапе синтеза изображения наиболее актуальной для разработчиков АТ задачи – удалить из дальнейшей обработки максимальный участок 3D-модели района полётов или расположить на расстоянии невидимости друг от друга отдельные участки 3D-модели района полётов, максимально насыщенные 3D-моделями реперных объектов, расположенных на расстоянии более чем 30 км.

Начиная с сегмента первого уровня и далее, независимо от вида выбранной геометрической фигуры, принято делить каждый сегмент одного уровня на четыре одинаковых сегмента другого уровня. Четыре сегмента следующего уровня по площади занимают один сегмент, в который они вложены в зависимости от числа вложений сегментов друг в друга (например, сегменты пятого уровня вложены в сегменты четвёртого уровня, сегменты четвёртого уровня вложены в сегменты третьего уровня, сегменты третьего уровня вложены в сегменты второго уровня, сегменты второго уровня вложены в сегменты первого уровня).

Если распределять ресурсы КГИ с учётом полигонов и огней, эта задача будет относиться к целочисленному программированию. Однако если распределять ресурсы КГИ по сегментам, рассматривая допустимое время их обработки, получаем задачу целочисленного программирования, которую можно решать известными методами.

Тогда целевая функция примет вид

$$W = \sum_{i=1}^n N_{\text{пол}} N_{\text{огн}} \rightarrow \max. \quad (4)$$

При рассмотрении формулы (4) не надо забывать, что как $N_{\text{пол}}$, так и $N_{\text{огн}}$ в общем случае – не числа, а совокупности чисел (векторы), функции и т. д.

Запишем теперь в виде формул ограничительные условия:

$$\left\{ \begin{array}{l} L(A_c - A_{\text{с.прибл}}) \geq 60 \\ N_{\text{пол}}^A \cdot T_{\text{сег}}^{\text{пол}} + M_{\text{огн}} + K_{\text{сег.дал}} \cdot T_{\text{сег.дал}} \leq 80 \\ N_{\text{пол}}^A \geq 800 \end{array} \right\}, \quad (5)$$

$T_{\text{сег}}^{\text{пол}}$ – время обработки i -го сегмента; $N_{\text{пол}}^A$ – количество активных полигонов.

Эти линейные неравенства представляют собой ограничения, накладываемые на элементы решения (на время и количество полигонов).

Таким образом, показано распределение ресурсов технической системы изображения для всей 3D-модели района полета как для задачи целочисленного программирования.

ВЫВОДЫ

1. Предложено решение задачи распределения ресурсов специальной программно-технической системы синтеза изображения для всей 3D-модели района полётов большого размера для авиационного тренажера.
2. Для каждого имитатора разрабатывается своя 3D-модель района полётов с учётом 3D-моделей реперных объектов, размещённых в 3D-районе полётов, разработанном для имитатора визуальной обстановки.
3. Для деления района полета целесообразно применять методы целочисленного программирования.

Список литературы:

1. Красовский, А.А. Авиационные тренажеры / А.А. Красовский, В.И. Лопатин [и др.]. – М.: Publisher: VVIA named after Zhukovsky, 1992. – P. 320.
2. Роганов, В.Р. Некоторые аспекты восприятия виртуального пространства, получаемого с помощью имитатора визуальной обстановки / В.Р. Роганов // Морские обучающие тренажеры: тезисы докладов Международной конференции, 1999. – С.56–58.
3. Кувшинова, О.А. Задачи моделирования района полетов для авиационных тренажеров и операторов беспилотных летательных аппаратов / О.А. Кувшинова, Т.А. Глебова, В.Р. Роганов [и др.] // Надежность и качество сложных систем. – 2021. – №3(35). – С 80–86.
4. Артемов, А.Д. К вопросу выбора технических средств обучения авиационного персонала гражданской авиации / А.Д. Артемов, Е.В. Максимова, В.В. Щербак, М.Н. Машкин, О.Т. Романов // Оборонный комплекс – научно-техническому прогрессу России. – 2016. – № 3 (131). – С. 64–74.
5. Громов, Ю.Ю. Оценка эффективности алгоритмического и методического обеспечения обработки информации обнаружения и измерения координат воздушных объектов / Ю.Ю. Громов, А.Н. Потапов, И.Н. Ищук // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2022. – №7. – С. 18–26.
6. Роганов, В.Р. Методы и средства формирования элементов когнитивной модели человека, наблюдающего 3D-модели, синтезированные имитаторами авиационного тренажёра / В.Р. Роганов // Промышленные АСУ и контроллеры. – 2022. – No. 12. – P. 34–41.
7. Корбут, А.А. Дискретные задачи математического программирования / А.А. Корбут, Ю.Ю. Финкельштейн // Итоги науки. Сер. Теор. вероятн. Мат. стат. Теор. кибернет. – 1966, 1967. – С. 59–108.

References

1. Krasovsky, A.A. Aviation simulators / A.A. Krasovsky, V.I. Lopatin [et al.]. – M.: Publisher VVIA named after Zhukovsky, 1992. – P.320.
2. Roganov, V.R. Some aspects of the perception of virtual space obtained using a visual environment simulator / V.R. Roganov // Maritime training simulators: abstracts of the International Conference, 1999. – P.56–58.
3. Kuvshinova, O.A. Problems of flight area modeling for aviation simulators and operators of unmanned aerial vehicles / O.A. Kuvshinova, T.A. Glebova, V.R. Roganov [et al.] // Reliability and quality of complex systems. – 2021. – №3(35). – P. 80–86.
4. Artemov, A.D. On the issue of choosing technical means of training civil aviation personnel / A.D. Artemov, E.V. Maksimova, V.V. Shcherbak, M.N. Mashkin, O.T. Romanov // Defense complex – scientific and technical progress of Russia. – 2016. – No. 3 (131). – P. 64–74.
5. Gromov, Yu.Yu. Assessing the effectiveness of algorithmic and methodological support for processing information for detecting and measuring the coordinates of air objects / Yu.Yu. Gromov, A.N. Potapov, I.N. Ishchuk // Instruments and systems. Management, control, diagnostics. – 2022.– No. 7. – P. 18–26.

6. Roganov, V.R. Methods and means of forming elements of a cognitive model of a person observing 3D models synthesized by simulators of an aviation simulator / V.R. Roganov // Industrial automated control systems and controllers. – 2022. – No. 12. – P. 34–41.

7. Korbut, A.A. Discrete problems of mathematical programming /A.A. Korbut, Yu.Yu. Finkelshtein // Itogi Nauki. Ser. Theor. probable Mat. stat. Theor. cybernet. – 1966, 1967. – P. 59–108.

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

Литвинская Ольга Сергеевна,
кандидат технических наук, доцент кафедры
«Информационно-вычислительные системы»
E-mail:oslit@yandex.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

Litvinskaya Olga Sergeevna,
Candidate of Sciences, Associate Professor of the
Department «Information and Computing Systems»
E-mail: oslit@yandex.ru

ВИРТУАЛИЗАЦИЯ В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ

О.С. Литвинская

Представлены технологии виртуализации, которые апробированы в компьютерном классе вуза. Большое значение для подготовки выпускников направления «Информационные системы и технологии» имеют методики изучения основополагающих дисциплин. Используемые для практической подготовки по этим дисциплинам методы и средства могут иметь серьезные недостатки. Эти недостатки связаны с тем, что в большинстве учебных заведений компьютеры работают под управлением операционной системы (ОС) семейства Windows, а для освоения других семейств ОС и их окружения, например ОС семейства Linux, возможности практически отсутствуют. Кроме того, режимы работы компьютерных классов в целях информационной безопасности вводят существенные ограничения на действия обучаемых. Эти ограничения не позволяют полноценно осваивать специализированные программные продукты. Очевидно, что нужны методы и средства, устраняющие отмеченные недостатки. К таким методам и средствам относится использование в учебном процессе технологии виртуальных машин (ТВМ), интенсивно развивающейся в последнее время.

Ключевые слова: архитектура информационных систем, виртуализация, контейнеризация, гибридная виртуализация, гипервизор

VIRTUALIZATION IN THE EDUCATIONAL PROCESS

O.S. Litvinskaya

The article presents virtualization technologies that have been tested in a university computer class. Methods for studying fundamental disciplines are of great importance for the training of graduates in the field of Information Systems and Technologies. The methods and tools used for practical training in these disciplines may have serious drawbacks. These shortcomings are due to the fact that in most educational institutions, computers run an operating system (OS) of the Windows family, and there are practically no opportunities for mastering other OS families and their environment, for example, the Linux OS family. In addition, the operating modes of computer classes for information security purposes introduce significant restrictions on the actions of students. These limitations do not allow you to fully master specialized software products. It is obvious that methods and means are needed to eliminate the noted shortcomings. Such methods and means include the use of virtual machine (VM) technology in the educational process, which has been intensively developing recently.

Keywords: information systems architecture, virtualization, containerization, hybrid virtualization, hypervisor

Введение

Виртуализация в учебном процессе широко используется для создания удаленных рабочих столов, где студенты могут получить доступ к необходимому программному обеспечению и приложениям, не установленным на компьютере. Это особенно актуально для дисциплин, где требуется использование специализированного программ-

ного обеспечения, которое может быть дорогостоящим и сложным в установке и настройке на личном компьютере студента [1].

Технологии виртуализации позволяют централизовать управление рабочим окружением, что обеспечивает более эффективное использование вычислительных ресурсов и упрощает процесс обновления и поддержки программного обеспечения. Кроме того, удаленные рабочие столы позволяют студентам работать над проектами и заданиями в любом месте и в любое время, что обеспечивает гибкость и мобильность обучения.

Одним из главных преимуществ виртуализации в учебном процессе является улучшенная безопасность. Поскольку учебные материалы и данные хранятся на централизованном сервере, это уменьшает риск утечки данных и заражения вирусами. Кроме того, преподаватели и администраторы могут легко управлять доступом к учебным материалам и следить за активностью студентов.

Однако существуют и некоторые недостатки виртуализации в учебном процессе.

Во-первых, для работы с удаленным рабочим столом требуется стабильное и быстрое интернет-соединение, что в домашних условиях может быть проблематично для некоторых студентов. При работе из компьютерного класса затруднений не возникает вследствие модернизации сети (перехода на оптоволокно локальной сети) [2].

Во-вторых, виртуализация требовательна к аппаратному обеспечению, что может потребовать дополнительных инвестиций в вычислительные ресурсы.

Виртуализация в учебном процессе может быть использована в различных дисциплинах. Так, например, по курсу «Инструментальные средства информационных систем» виртуализация может быть использована для изучения процесса создания виртуальных машин посредством установки гипервизоров или контейнеров. В курсе «Архитектуры информационных систем» виртуализация позволяет разрабатывать информационные системы различной архитектуры, т.е. использовать виртуальный сервер приложений и сервер базы данных. В ходе изучения дисциплины «Администрирование информационных систем» студенты могут изучать установку и настройку программ для организации удаленных рабочих столов, изучать установку, настройку и управление серверами, сетевыми устройствами и операционными системами.

В рамках данной статьи предлагается рассмотреть опыт создания виртуальных машин в учебном классе.

Основная часть

В ходе изучения курса «Инструментальные средства информационных систем» была поставлена и успешно решена задача по изучению средств виртуализации. Требовалось установить виртуальную машину или контейнер для размещения информационной системы под операционную систему Ubuntu. Информационная система имеет трехуровневую клиент-серверную архитектуру, представленную на рис. 1.

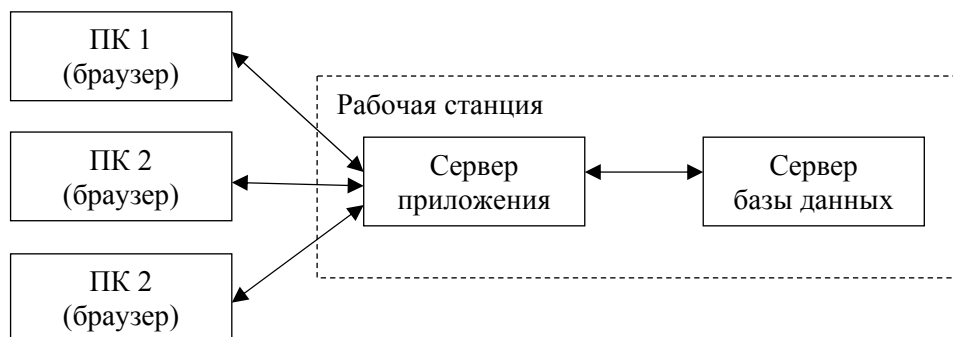


Рис. 1. Трехуровневая архитектура информационной системы

Были рассмотрены два подхода к виртуализации, которые имеют свои особенности и преимущества: это гипервизорная и контейнерная виртуализации [3].

Гипервизорная виртуализация работает на уровне аппаратного обеспечения и создает несколько виртуальных машин, каждая из которых работает на своей операционной системе. Гипервизор отделяет ресурсы физического сервера и распределяет их между виртуальными машинами, что позволяет использовать ресурсы сервера более эффективно. Гипервизорная виртуализация обеспечивает полную изоляцию между виртуальными машинами и позволяет запускать на сервере несколько различных операционных систем, что делает ее подходящей для различных приложений и сценариев. Однако каждая виртуальная машина требует своих ресурсов, что может привести к избыточности затрат на хранение и управление виртуальными машинами [4].

Контейнерная виртуализация работает на уровне операционной системы и позволяет создавать несколько изолированных контейнеров, каждый из которых запускает приложения на одном и том же ядре операционной системы. Контейнеры используют общую операционную систему, что позволяет использовать ресурсы сервера более эффективно и снижать издержки на управление и хранение контейнеров. Контейнеры также обеспечивают высокую скорость запуска и управления приложениями, что делает их подходящими для микросервисной архитектуры и для приложений, которые не требуют полной изоляции. Однако контейнеры могут иметь ограничения в отношении совместимости и безопасности из-за использования общей операционной системы [5].

В процессе изучения средств виртуализации были рассмотрены вопросы установки гипервизоров под операционную систему Ubuntu, таких, как VMware Workstation, VirtualBox, KVM, и программы для контейнерной виртуализации Docker. Этапы процесса виртуализации, рассмотренные в процессе изучения, представлены на рис. 2.

В ходе изучения поставленных вопросов было выявлено, что результаты сравнения гипервизорной виртуализации и контейнерной виртуализации зависят от конкретных требований и сценариев использования. Ключевые различия между двумя подходами следующие:

- изоляция: гипервизорная виртуализация обеспечивает полную изоляцию между виртуальными машинами, в то время как контейнеры используют общую операционную систему и имеют более ограниченную изоляцию;
- ресурсы: гипервизорная виртуализация требует большего количества ресурсов для каждой виртуальной машины, в то время как контейнеры используют общие ресурсы и требуют меньше издержек на управление и хранение;
- совместимость: гипервизорная виртуализация может поддерживать разные операционные системы внутри виртуальных машин, а контейнеры могут иметь ограничения в отношении совместимости приложений из-за использования общей операционной системы;
- масштабирование: гипервизорная виртуализация может масштабироваться путем добавления новых физических серверов и распределения виртуальных машин между ними, а контейнеры могут масштабироваться путем создания новых контейнеров на одном сервере;
- безопасность: гипервизорная виртуализация обеспечивает более высокую безопасность, так как каждая виртуальная машина работает на отдельной операционной системе, в то время как контейнеры используют общую операционную систему и могут иметь ограничения в отношении безопасности.

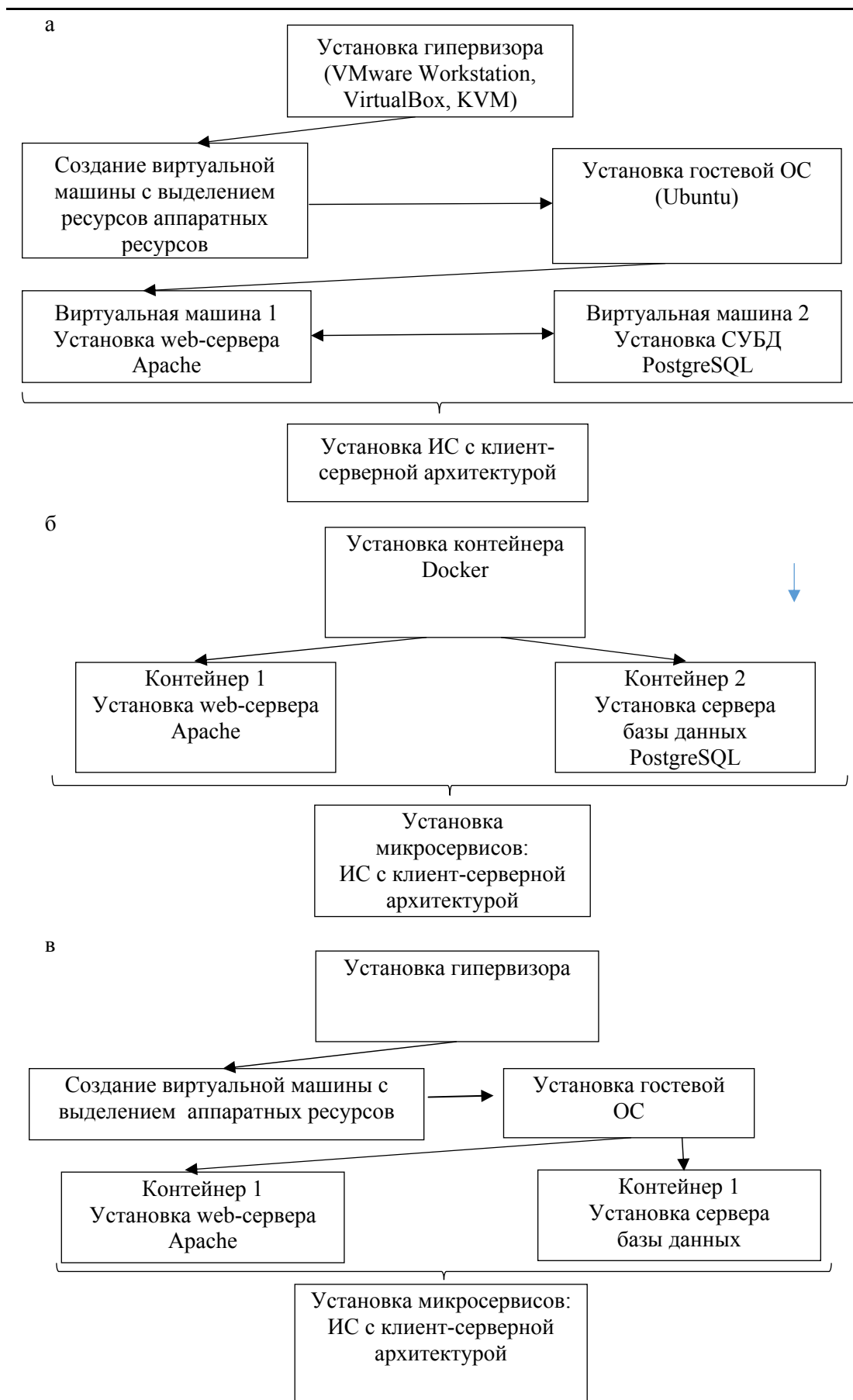


Рис. 2. Этапы процесса виртуализации:
 а – гипервизорная виртуализация; б – контейнеризация; в – гибридная виртуализация

Результаты

Приобретенный опыт установки виртуальных машин в компьютерном классе вуза имеет положительные стороны: студенты на конкретных примерах освоили этапы процесса виртуализации и контейнеризации.

В процессе сравнения средств виртуализации было выявлено, что оперирование числовыми параметрами может быть сложным, так как эти параметры могут варьироваться в зависимости от конкретных требований и настроек. Важно также учитывать и другие факторы, такие, как поддержка пользователей, удобство использования, наличие дополнительных функций и возможностей интеграции со смежными системами и приложениями. Виртуализация для учебных целей имеет более гибкую поддержку пользователей.

Список литературы

1. Кураева, Е.А. Выбор технологии виртуализации для учебного процесса вуза / Е.А. Кураева, О.С. Литвинская // XXI век: итоги прошлого и проблема настоящего плюс. – Пенза, 2023. – С. 29–35.
2. Литвинская, О.С. Использование удаленных рабочих столов в учебном процессе / О.С. Литвинская, Е.А. Артюшина // Информационно-вычислительные технологии и их приложения: сборник статей XXVI Международной научно-технической конференции; под научной редакцией В.В. Кузиной. – Пенза, 2022. – С.135–138.
3. Кузьмичев, А.Б. Оптимизация образовательного процесса при проведении практических занятий по направлениям обучения, требующих наличия специального прикладного программного обеспечения и средств разработки программного обеспечения / А.Б. Кузьмичев // Балтийский гуманитарный журнал. – 2017. – N 4 (21). – С.323–326.
4. Васичкина, О.Н. Технология «Виртуальная реальность»: положительные и отрицательные аспекты применения в преподавании / О.Н. Васичкина // Гуманитарные и социальные науки. – 2023. – №1. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tehnologiya-virtualnaya-realnost-polozhitelnye-i-otritsatelnye-aspekty-primeneniya-v-prepodavanii> (дата обращения: 23.09.2023).
5. Ульянов, А.Н. Качество плюс наглядность. Применение технологий виртуализации вычислительных ресурсов в информационно-образовательной среде / А.Н. Ульянов, М.Г. Столяров, И.В. Стельмах // Вестник военного образования. – 2021. – №6 (33). – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/kachestvo-plyus-naglyadnost-primeneniye-tehnologiy-virtualizatsii-vychislitelnyh-resursov-v-informatsionno-obrazovatelnoy-srede> (дата обращения: 25.09.2023).

References

1. Kuraeva, E.A. Choice of virtualization technology for the educational process of a university / E.A. Kuraeva, O.S. Litvinskaya // XXI century: results of the past and the problem of the present plus. – Penza, 2023. – P. 29–35.
2. Litvinskaya, O.S. Using remote desktops in the educational process / O.S. Litvinskaya, E.A. Artyushina // Information and computing technologies and their applications. – Collection of articles of the XXVI International Scientific and Technical Conference; Scientifically edited by V.V. Kuzina. – Penza, 2022. – P. 135–138.
3. Kuzmichev, A.B. Optimization of the educational process when conducting practical classes in areas of study that require special application software and software development tools / A.B. Kuzmichev // Baltic Humanitarian Journal. – 2017. – N 4 (21). – P. 323–326.
4. Vasichkina, O.N. Technology “Virtual reality”: positive and negative aspects of application in teaching / O.N. Vasichkina // Humanities and social sciences. – 2023. – No. 1. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tehnologiya-virtualnaya-realnost-polozhitelnye-i-otritsatelnye-aspekty-primeneniya-v-prepodavanii> (date of access: 09/23/2023).

5. Ulyanov, A.N. Quality plus visibility. Application of virtualization technologies of computing resources in information and education environment / A.N. Ulyanov, M.G. Stolyarov, I.V. Stelmakh // Bulletin of military education. – 2021. – No. 6 (33). – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/kachestvo-plyus-naglyadnost-primenenie-tehnologiy-virtualizatsii-vychislitelnyh-resursov-v-informatsionno-obrazovatelnoy-srede> (date of access: 09/25/2023).

УДК 621.01

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

Лысый Сергей Петрович,
кандидат технических наук, доцент кафедры
«Начертательная геометрия и графика»

Гнусарев Алексей Ильич,
студент

*Penza State University of Architecture
and Construction*

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

Lysy Sergey Petrovich,
Candidate of Sciences, Associate Professor of the
Department «Descriptive Geometry and
Graphics»

Gnusarev Aleksey Ilyich,
Student

МОДУЛЬ EDRAWINGS ПРОГРАММЫ SOLIDWORKS

С.П. Лысый, А.И. Гнусарев

Рассмотрена последовательность создания файлов eDrawings на основе деталей, сборок и чертежей. Проведен анализ менеджера eDrawings. Изучены процесс работы с 3D-указателем и функции главного окна модуля.

Ключевые слова: деталь, вид, чертеж, модель, окно

THE EDRAWINGS MODULE OF THE SOLIDWORKS PROGRAM

S.P. Lysy, A.I. Gnusarev

The paper considers the sequence of creating eDrawings files based on parts, assemblies and drawings. The analysis of the eDrawings manager is carried out. The process of working with a 3D pointer and the functions of the main window of the module are studied.

Keywords: detail, view, drawing, model, window

Введение. При работе в программе SolidWorks конструкторы часто используют специализированный модуль eDrawings. К основным преимуществам модуля относятся быстрое создание файлов eDrawings на основе деталей, сборок или чертежей, наличие анимации модели. Модуль eDrawings позволяет обмениваться файлами с другими пользователями, причем даже без установки программы SolidWorks. Для этого может быть использована электронная почта. Отличительной особенностью рассматриваемого модуля выступает возможность скрытия компонентов в сборке eDrawing, а так же выбранных видов в чертеже. Понимание алгоритма работы с модулем eDrawings является важным фактором при обучении студентов на практических занятиях по дисциплине «Инженерная и компьютерная графика».

Цель работы – проанализировать структуру модуля eDrawings программы Solidworks.

Задачи работы:

- рассмотреть последовательность создания файлов eDrawings на основе деталей, сборок и чертежей;
- провести анализ менеджера eDrawings;
- изучить процесс работы с 3D-указателем и функции главного окна модуля.

Последовательность создания файлов eDrawings на основе деталей, сборок и чертежей. Откройте в SolidWorks деталь Tutor1, нажмите кнопку Publish an eDrawing (создать eDrawing). Перед нами отобразится eDrawing детали (рис. 1) в программе просмотра eDrawings Viewer. Для поворота вида детали на 90° необходимо нажать на клавишу со стрелкой, предварительно зажав кнопку Shift. При нажатии на клавишу со

стрелкой без Shift вид будет поворачиваться на 15° после каждого нажатия кнопки. В исходную позицию деталь можно вернуть с помощью кнопки Home (начало). Для непрерывного отображения видов по одному нажмите кнопку Continuous Play (непрерывное воспроизведение). Для закрепления навыков использования этих команд внимательно рассмотрите данную деталь. После этого приостановите непрерывное отображение видов кнопкой Stop (остановить) и закройте файл eDrawing без сохранения изменений.

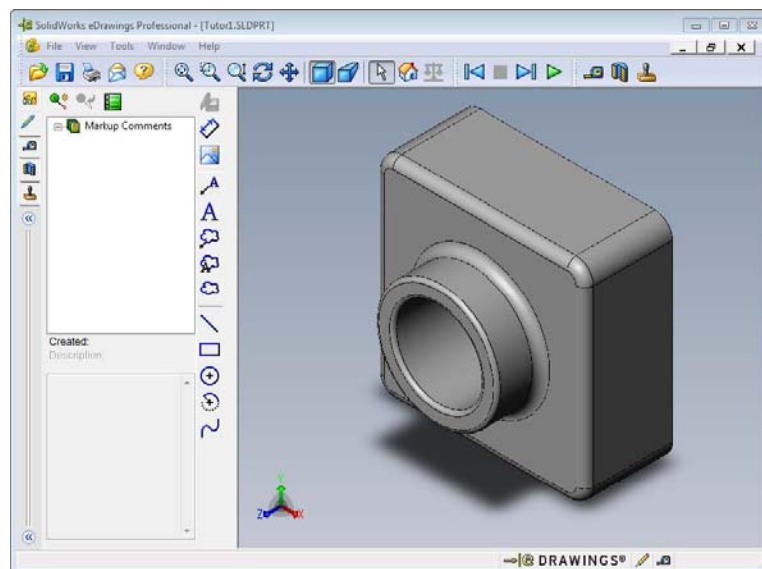


Рис. 1. Модуль eDrawing детали

На следующем этапе откройте сборку Tutor, а затем нажмите Publish an eDrawing (создать eDrawing). На экране (в программе просмотра eDrawings Viewer) отобразится eDrawing сборки (рис. 2). Нажмите Continuous Play, чтобы все виды отображались по очереди. Просмотрите данное изображение и нажмите Stop для завершения непрерывного отображения видов. Верните первоначальный вид детали с помощью кнопки Home. На панели Components (компоненты) нажмите правой кнопкой мыши на Tutor1-1 и выберите Make Transparent (сделать прозрачным) в контекстном меню. Теперь деталь Tutor1-1 (рис. 3) станет прозрачной и сквозь нее можно будет смотреть.

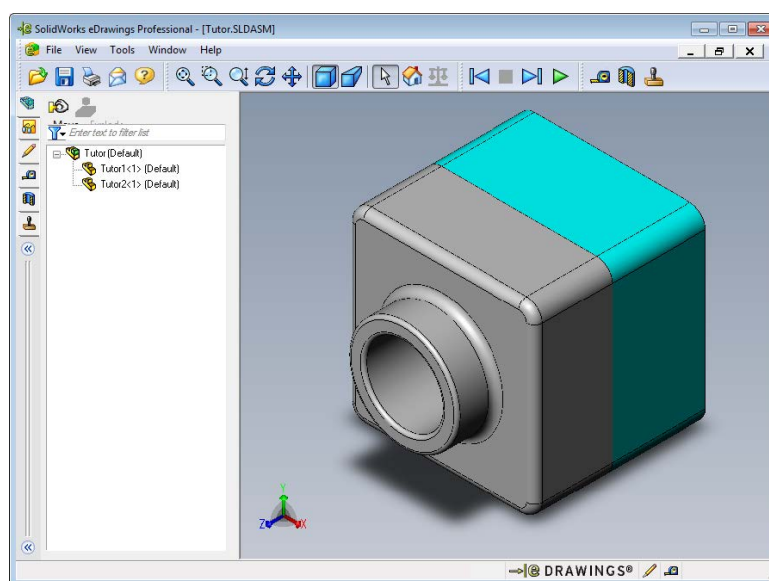


Рис. 2. Модуль eDrawing сборки

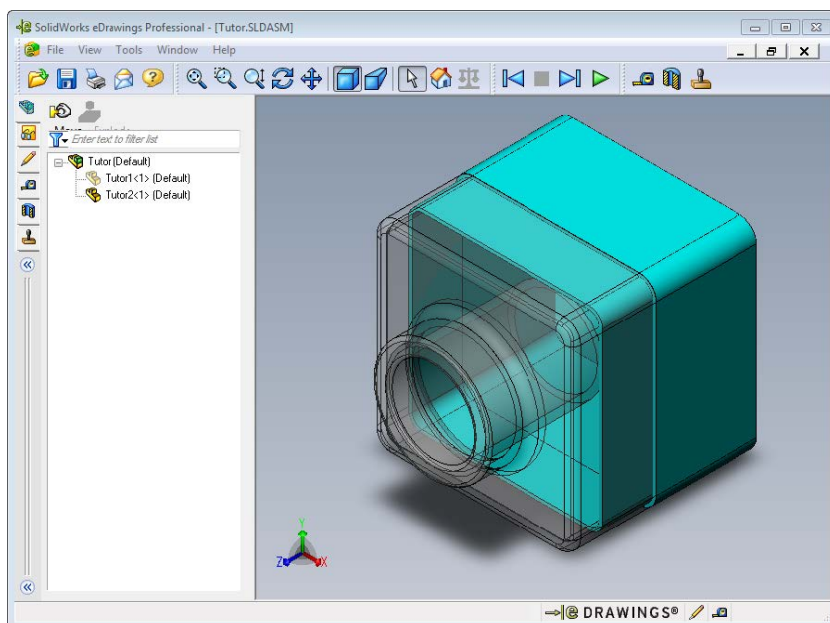


Рис. 3. Прозрачная деталь Tutor1-1

Чтобы скрыть деталь, нажмите правой кнопкой мыши на Tutor1-1 и выберите Hide (скрыть). В окне просмотра деталь Tutor1-1 (рис. 4) больше не видна. Однако, деталь не удалена из eDrawing, а скрыта для отображения. Чтобы деталь снова стала видимой, нажмите правой кнопкой мыши на Tutor1-1 и выберите Show (отобразить).

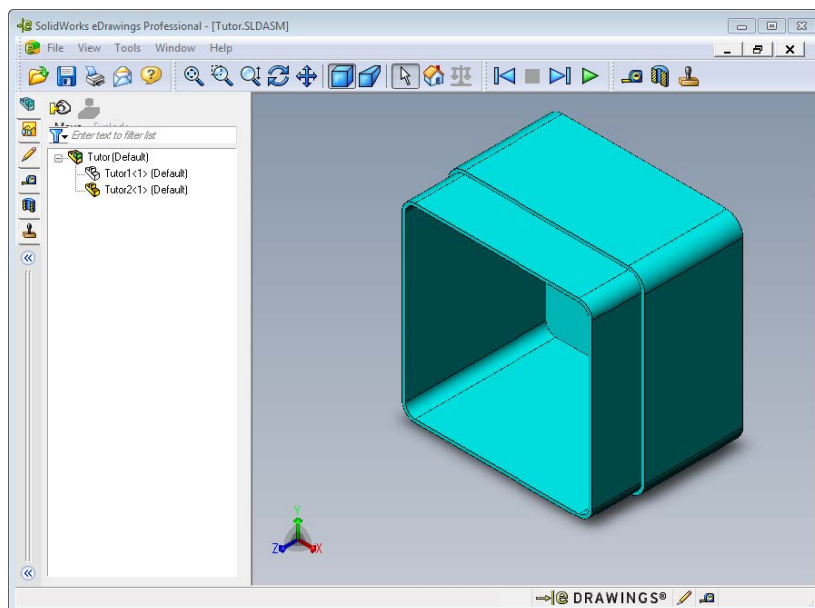


Рис. 4. Применение операции Hide для детали Tutor1-1

Далее откройте чертеж, содержащий два листа:

- а) лист 1 – деталь Tutor1 (рис. 6);
- б) лист 2 – сборка Tutor.

Пример данного файла расположен в папке Lesson07 под названием Finished Drawing.slddrw. Для включения всех листов в eDrawing нажмите Publish an eDrawing и выберите All sheets (все листы, рис. 5). После подтверждения команды кнопкой ОК eDrawing чертежа отобразится в eDrawings Viewer. Нажмите Continuous Play, чтобы все виды (рис. 6) отображались по очереди. Просмотрите данное изображение и обратите внимание, что оба листа чертежа показаны в анимации. Остановите непрерывное

отображение видов чертежа кнопкой Stop. Для возвращения к исходному виду нажмите Home.

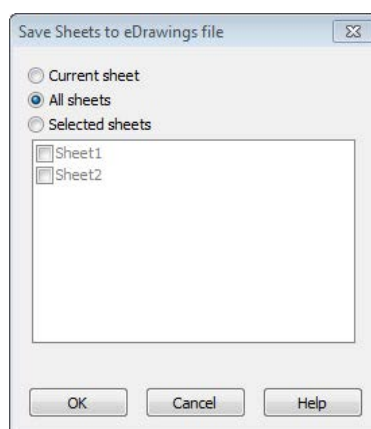


Рис. 5. Вкладка All sheets

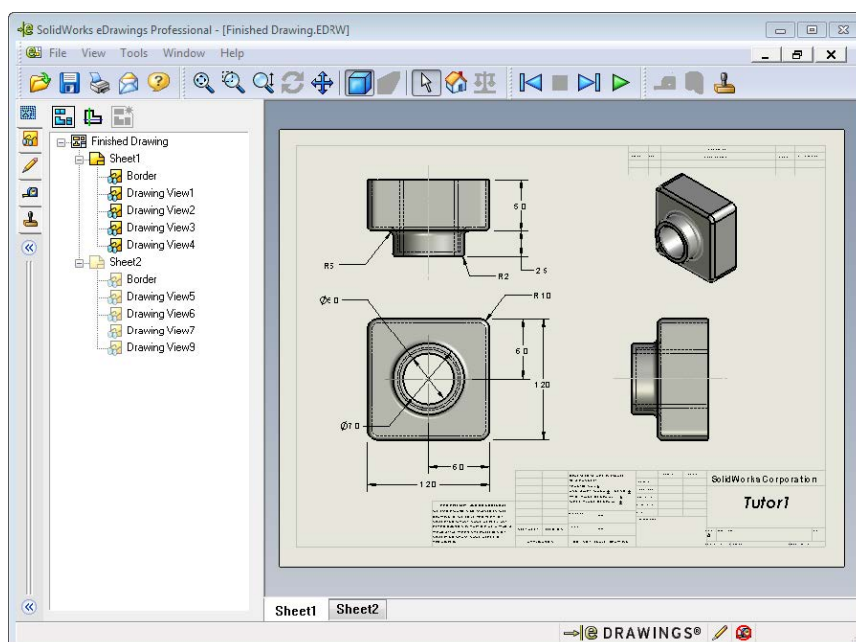


Рис. 6. Все виды чертежа детали Tutor1

Анализ менеджера eDrawings. Важным инструментом при проектировании модели выступает менеджер eDrawings. Он расположен на левой стороне eDrawings Viewer. Менеджер позволяет отображать вкладки, позволяющие управлять информацией о файле. При открытии файла автоматически выбирается наиболее подходящая вкладка. К примеру, при открытии файла чертежа автоматически открывается вкладка Sheets (листы). С помощью данной вкладки проще ориентироваться в чертежах с несколькими листами. Во вкладке Sheets менеджера eDrawings нажмите два раза Sheet2 (лист 2, рис. 7). Чертеж отобразится в окне eDrawings Viewer. Этот способ удобен для переключения разных листов в чертеже. Стоит отметить, что переключаться между листами можно с помощью вкладок, которые расположены под графической областью экрана.

Используя вкладку Sheets менеджера eDrawings, нажмите правой кнопкой мыши на один из видов чертежа. В появившемся меню Hide/Show (скрыть/отобразить) нажмите Hide. Посмотрите, как изменится файл eDrawings, и вернитесь к листу Sheet1 (лист 1).

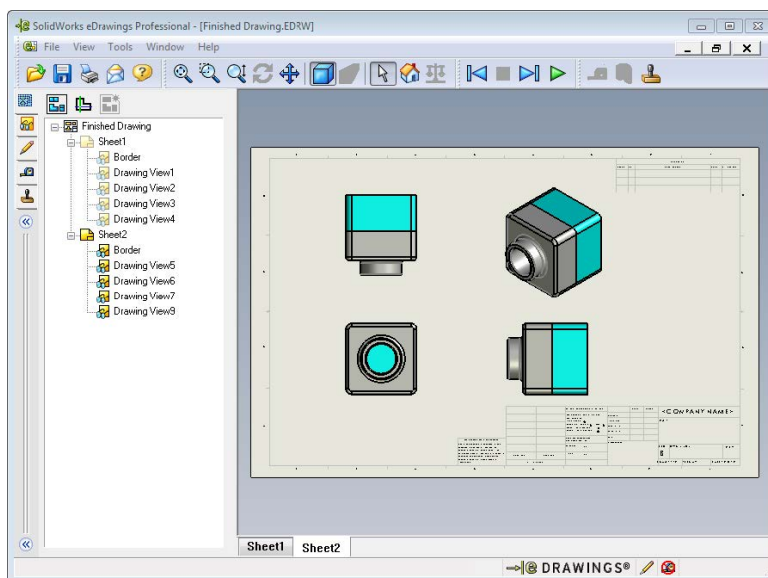


Рис. 7. Вкладка Sheet2 (лист 2) с чертежом

Процесс работы с 3D-указателем и функции главного окна модуля. 3D-указатель применяется для выбора места во всех чертежных видах файла. При выборе 3D-указателя на каждом чертежном виде образуются связанные перекрестия. Например, если поместить перекрестие на кромку в одном виде, то перекрестия в других видах будут указывать на ту же кромку. На рис. 8 приведены цвета перекрестий.

Цвет	Ось
Красный	Ось X (перпендикулярная плоскости YZ)
Синий	Ось Y (перпендикулярная плоскости XZ)
Зеленый	Ось Z (перпендикулярная плоскости XY)

Рис. 8. Цвета перекрестий

Для выполнения следующего действия нажмите кнопку 3D Pointer (3D-указатель). eDrawing чертежа отобразит 3D-указатель. Он позволяет детальнее разглядеть ориентацию каждого из видов (рис. 9). При перемещении 3D-указателя его положение на каждом из видов меняется.

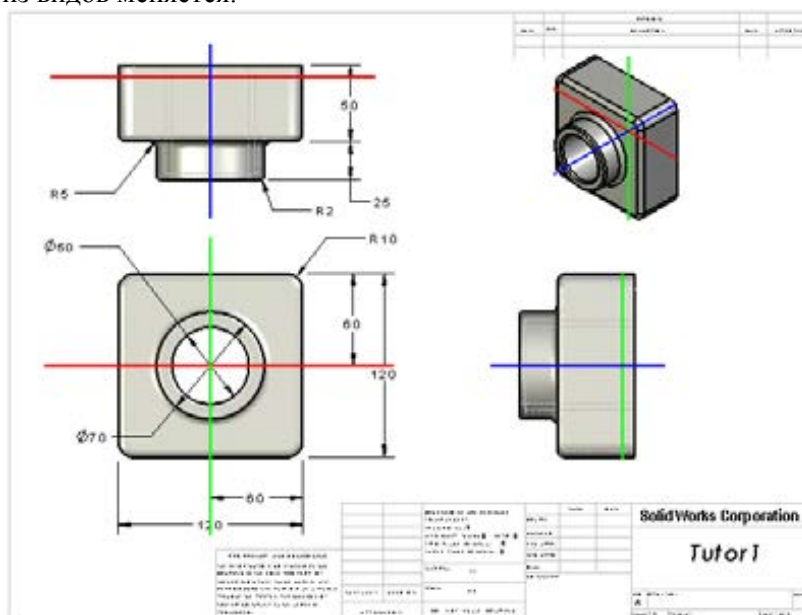


Рис. 9. 3D-указатель на разных видах чертежа

Overview Window (главное окно, рис. 10) предоставляет собой уменьшенную копию изображения всего чертежного листа. Данная функция необходима при работе с чертежами большого формата. Кроме этого, окно используется для переключения между видами модели.

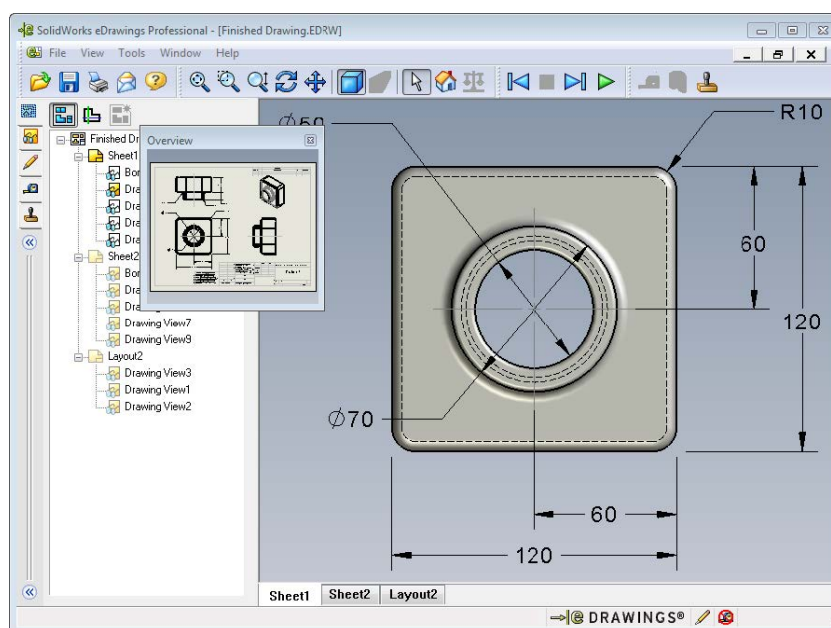


Рис. 10. Главное окно Overview Window

В главном окне выберите нужный вам вид и нажмите Overview Window. В появившемся окне Overview Window выберите вид Front (спереди) и посмотрите, как изменится eDrawings Viewer.

Таким образом, мы рассмотрели последовательность создания файлов eDrawings на основе деталей, сборок и чертежей, провели анализ менеджера eDrawings и изучили процесс работы с 3D-указателем и функции главного окна модуля.

Список литературы

1. Лысый, С.П. Назначение и особенности программы Компас-3D / С.П. Лысый, С.С. Голдобуев, Д.Н. Абуталипов [и др.] // Информационно-вычислительные технологии и их приложения: сборник статей XXVII Международной НТК / Омский филиал института математики им. С.Л. Соболева СО РАН, Пензенский государственный университет архитектуры и строительства и [др.]; под ред. В.В. Кузиной. – Пенза: Пензен. гос. аграр. ун-т, 2023. – С. 213-216.
2. Лысый, С.П. Программа Solidworks / С.П. Лысый, С.С. Голдобуев, Е.В. Басов и др. // Информационно-вычислительные технологии и их приложения: сборник статей XXVII Международной НТК / Омский филиал института математики им. С.Л. Соболева СО РАН, Пензенский государственный университет архитектуры и строительства и [др.]; под ред. Кузиной В.В. – Пенза: Пензен. гос. аграр. ун-т, 2023. – С. 217–220.
3. Theoretical study of bench parameters for repair of railway equipment units / R.F. Khatamov, I.A. Polikanova, E.D. Vorobyeva, S.P. Lysyj, M.A. Vishnikina. – URL: <https://pubs.aip.org/aip/acp/article/2476/1/020031/2891022/Theoretical-study-of-bench-parameters-for-repair>. Дата обращения: 16.07.2023.

References

1. Lysy, S.P. Purpose and features of the Compass – 3D program / S.P. Lysy, C.C. Goldobuev, D.N. Abutalipov [et al.] // Information and computing technologies and their applications: collection of articles of the XXVII International Scientific and Technical

Committee / Omsk branch of the Institute of Mathematics named after. S.L. Sobolev SB RAS, Penza State University of Architecture and Construction, etc.; edited by V.V. Kuzina. – Penza: Penzen. state agrarian univ., 2023. – P. 213–216.

2. Lysy, S.P. Solidworks program / S.P. Lysy, C.C. Goldobuev, E.V. Basov [et al.] // Information and computing technologies and their applications: collection of articles of the XXVII International Scientific and Technical Committee / Omsk branch of the Institute of Mathematics named after. S.L. Sobolev SB RAS, Penza State University of Architecture and Construction, etc.; edited by V.V. Kuzina. – Penza: Penzen. state agrarian univ., 2023. – P. 217-220.

3. Theoretical study of bench parameters for repair of railway equipment units / R.F. Khatamov, I.A. Polikanova, E.D. Vorobyeva, S.P. Lysy, M.A. Vishnikina. – URL: <https://pubs.aip.org/aip/acp/article/2476/1/020031/2891022/Theoretical-study-of-bench-parameters-for-repair>. Access date: 07/16/2023.

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

Сорокин Дмитрий Сергеевич,

ассистент кафедры ТСМиД

E-mail: techbeton@pguas.ru

Лавров Иван Юрьевич,

аспирант

*Penza State University of Architecture
and Construction*

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

Sorokin Dmitry Sergeevich,

Assistant of the department TSMD

E-mail: techbeton@pguas.ru

Lavrov Ivan Yurievich,

Postgraduate student

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРУКТУРНО-ЗАВИСИМЫХ СВОЙСТВ СТЕКЛОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

Д.С. Сорокин, И.Ю. Лавров

Приведены результаты исследований соответствия лабораторных экспериментов и численного моделирования с использованием критерия разрушения Мора – Кулона. Эффективное решение задачи представляет численное моделирование структурно-зависимых свойств стеклокомпозита.

Ключевые слова: стеклокомпозит, межпоровые перегородки, ячеистая структура

NUMERICAL MODELING OF STRUCTURE-DEPENDENT PROPERTIES OF GLASS-CRYSTALLINE MATERIALS

D.S. Sorokin, I. Yu. Lavrov

The results of studies are presented to assess the correspondence of laboratory experiments and numerical modeling using the Mohr – Kulon failure criterion. An effective solution to the problem is the numerical modeling of the structure-dependent properties of a glass composite.

Keywords: glass composite, interpore partitions, cellular structure

К важным преимуществам технологии получения стеклокристаллических материалов относится легкость модифицирования составов с целью получения конечного композита с заданным набором физико-механических свойств. На практике это реализуется изменением параметров микроструктуры за счет варьирования соотношения между стекловидной и кристаллической фазами. Данный подход позволяет создавать конкурентные материалы по сочетанию показателей средней плотности, прочности, теплопроводности, морозостойкости и т.д.

Несмотря на явные преимущества композиционных материалов, процесс проектирования их составов осложняется необходимостью изготовления и испытания многочисленных образцов с целью установления фактических показателей их свойств при проведении оптимизации.

Ранее задача оптимизации процесса проведения эксперимента с целью сокращения количества необходимых эмпирических данных решалась методами планирования с последующим построением регрессионных моделей в виде полиномов различной степени. Известны аналитические решения, основанные на феноменологическом анализе поведения элементарных ячеек различных пористых материалов под тем или иным физическим или силовым воздействием. В результате получены аналитические оценки эффективных механических свойств [1, 2].

В настоящее время, принимая во внимание существенное развитие компьютерных технологий, более эффективным решением рассматриваемой задачи представляется численное моделирование структурно-зависимых свойств стеклокомпозита. Развитие

средств вычислительной техники и прикладного программного обеспечения привело к созданию нового направления исследования свойств композитов, которое связано с компьютерным моделированием. При его реализации существуют сложности, связанные с особенностями многофазных материалов:

- 1) композиционные материалы характеризуются наличием видимых границ между фазами, что является причиной неоднородности их распределения по объему материала, при этом свойства каждой фазы и приграничных слоев оказывают существенное влияние на характеристики;
- 2) нелинейное изменение свойств материала при увеличении степени его наполнения;
- 3) сложный механизм формирования структуры и свойств межфазных слоев, наличие большого количества рецептурно-технологических факторов влияния, зачастую разнонаправленных;
- 4) проявление анизотропии свойств при введении волокнистых наполнителей с преимущественной ориентацией в одном направлении.

Существующие методики моделирования состоят из трех последовательных стадий [3]. На первой проектируется трехмерная модель элементарной расчетной ячейки материала с заданными параметрами относительного объема, геометрии и характера пор. Далее в систему вводятся числовые значения показателей свойств матричного материала, слагающего межпоровые перегородки. На втором этапе в специализированном ПО проводится численное моделирование поведения репрезентативного фрагмента материала под определенной нагрузкой. Окончание расчета сводится к математической обработке результатов расчета и их усреднения по объему композита для получения адекватной оценки показателя прочности.

По масштабному признаку можно выделить следующие уровни структуры стеклокомпозита: микро-, мезо- и макроструктуру. Каждый уровень структуры состоит не менее чем из двух компонентов. Микроструктура – это структура матричного материала (матрицы), являющаяся смесью кристаллитов, стекла и не растворившихся в расплаве кристаллических фаз; мезоструктура – это зерна кремнеземистого наполнителя, вводимого на втором этапе в стекловидную шихту и прослойки из матричного материала. Макроструктура включает в себя газовые ячейки различного диаметра и прослойки из материала мезоструктуры, слагающего межпоровые перегородки, формирующие несущий каркас легкого композита.

Использование структурного подхода при проектировании стеклокомпозита обеспечивает возможность учета и регулирования параметров макро- и микроструктуры с учетом особенностей будущей эксплуатации материала в конструкциях (рис. 1).

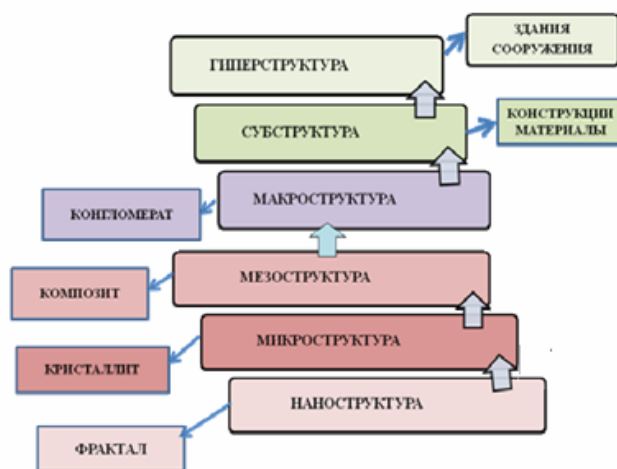


Рис. 1. Полиструктурность строительной продукции [4]

Существенным недостатком этого подхода является отсутствие прозрачности при вводе показателей свойств матричного материала. Методология их определения

зачастую сводится к предварительной оптимизации составов по процедуре «черного ящика» [5].

К настоящему времени разработаны программы, решающие задачи создания композиционных материалов на основе оперирования их интегральными характеристиками, т.е. работающие на уровне макроструктуры (MSC Nastran, Marc, Dytran) [6]. Методика численного эксперимента включает два этапа. На начальном проектировалась (генерировалась) ячеистая структура материала с интересующими параметрами взаимного расположения, общей величины и диаметров пор. На втором этапе вводились заданные периметры материала межпоровых перегородок, полученные опытным путем.

Непосредственно вычисление прочности на сжатие рассматриваемой сложной ячеистой системы осуществлялось последовательными итерациями с постепенным увеличением давления по верхней плоскости элементарной ячейки до появления первых признаков разрушения ячеистого материала – формирования зон красного цвета или сквозных отверстий в материале межпоровых перегородок.

В наших исследованиях вычисление предела прочности при сжатии производилось путём моделирования напряжённого состояния образца ячеистого гипсового материала, нагруженного равномерно распределённой силой. Для моделирования использовалось ПО SOLIDWORKS со встроенным CAE-модулем. В качестве ограничений устанавливали условие нулевых нормальных перемещений нижней, а также четырёх боковых граней образца.

Как показали предварительные эксперименты, это позволяет избежать концентрации напряжений в угловых точках основания образца, возникающей при жёсткой фиксации основания, что существенно искажает получаемые данные и не соответствует картине реальных испытаний по причине несовершенности геометрии образца и плит пресса.

В исследованиях использовались образцы-кубы со стороной 50 мм, изготовленные из строительного гипса Г-16. Гипс был выбран в качестве формовочного материала для натурального эксперимента, исходя из его уникальных свойств: быстрое твердение (набор прочности), однородность структуры и возможность получения образцов с гладкой поверхностью и четко выраженными структурными порами.

Сведения о послойной конфигурации ячеистой структуры образцов приведены на рис. 2.

Прочность ячеистых образцов вычислялась итерационным методом путём увеличения прикладываемой нагрузки с шагом 0,1 МПа. На каждом шаге вычислялся минимальный коэффициент запаса прочности (K_{min}). За прочность при сжатии принималось максимальное давление, при котором $K_{min} \rightarrow 1$. В качестве критерия разрушения были выбраны максимальное нормальное напряжение (первая теория прочности) и напряжение Мора – Кулона (пятая теория прочности) как наиболее подходящие для описания поведения хрупких материалов под нагрузкой. Результаты численных экспериментов представлены на рис. 3 и в таблице.

Сведения о результатах эксперимента и моделирования

Наименование показателя	Номер образца			
	1 (контр.)	2	3	4
Количество ячеек, шт.	0	24	27	24
Средний диаметр ячейки, мм	-	7	7	7
Расчётная пористость, %	0.00	3.45	3.88	3.45
Прочность при сжатии, МПа				
– фактическая	17.3	14.46	12.4	14.8
– расчетная /по критерию Мора – Кулона/	17.3	9.7	9.1	9.9
– расчетная /по критерию максимального нормального напряжения/	5.7	2.9	2.9	2.9

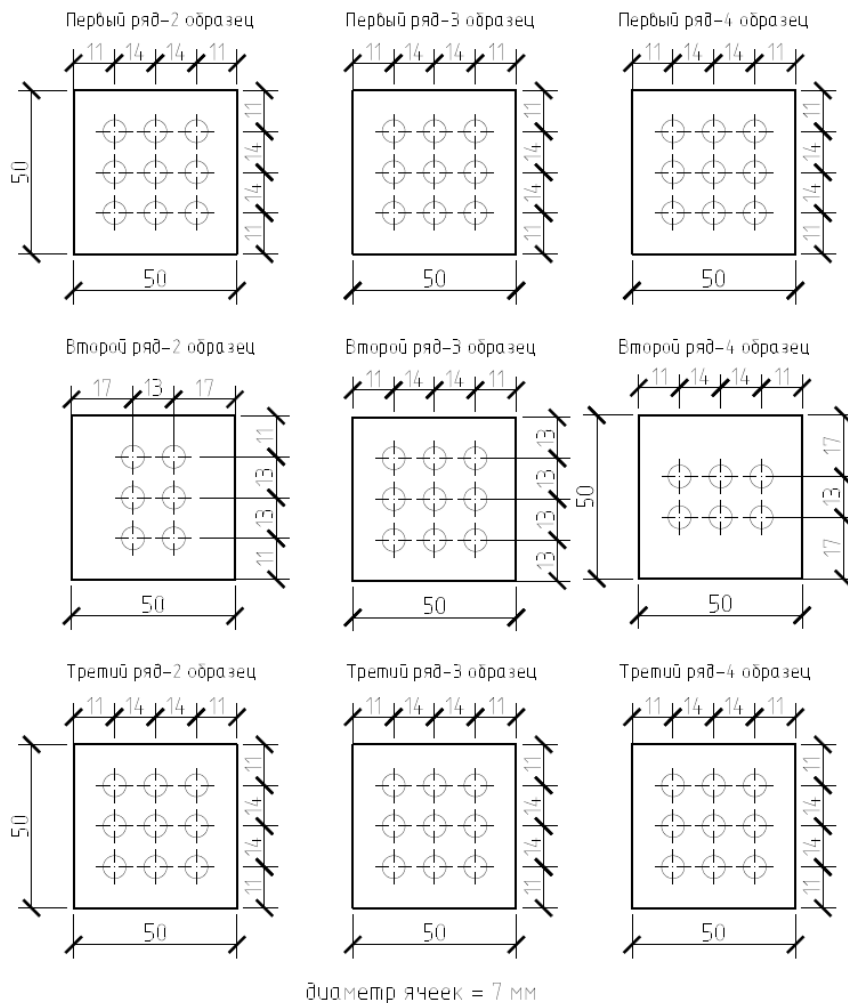


Рис. 2. Схемы расположения ячеек в 3D-моделях экспериментальных образцов гипсового камня

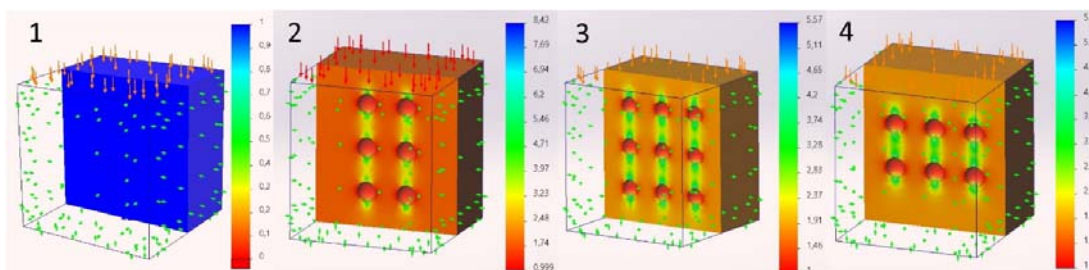


Рис. 3. Визуализация распределения коэффициента запаса прочности по критерию Мора – Кулона (3D-модели образцов показаны в разрезе)

При моделировании использовались механические характеристики гипсового камня, содержащиеся в базе данных ПО SOLIDWORKS, скорректированные по результатам предварительных экспериментов и согласованные с литературными данными [7–9].

Для проверки полученных результатов были изготовлены серии экспериментальных образцов (2-4) с заданной ячеистой структурой (рис. 4). Для этого были спроектированы и изготовлены формы, упрощающие позиционирование пустотобразователей в виде пенополистирольных шариков. Пенополистирол для моделирования пор был выбран из-за способности сохранять форму при сравнительно небольшом модуле упругости и прочности. Шарики фиксировались в заданных координатах посредством натянутой монофильной лески, которая удалялась после твердения и распалубки.

Формы при изготовлении образцов заливались послойно, во избежание сдвига пенополистирольных шариков (рис. 4, 5). Помимо этого, были изготовлены контрольные образцы без моделирования пор.



Рис. 4. Модифицированная форма для образцов-кубиков и размещение гранул пенополистирола перед заливкой гипсовой смесью



Рис. 5. Послойное заливание форм при изготовлении образцов

Процесс высыхания образцов происходил при комнатной температуре в течение 3 суток с дальнейшим проведением испытаний. В ходе проведения испытаний проводился фрактографический анализ разрушенных образцов посредством визуального осмотра (рис. 6).

При произведении анализа отмечено, что разрушение материала происходило преимущественно по плоскостям расположения пенополистирольных гранул.



Рис. 6. Топология излома экспериментальных образцов

На основании полученных данных построена диаграмма прочности экспериментальных образцов и исследуемых 3D-моделей (рис. 7).

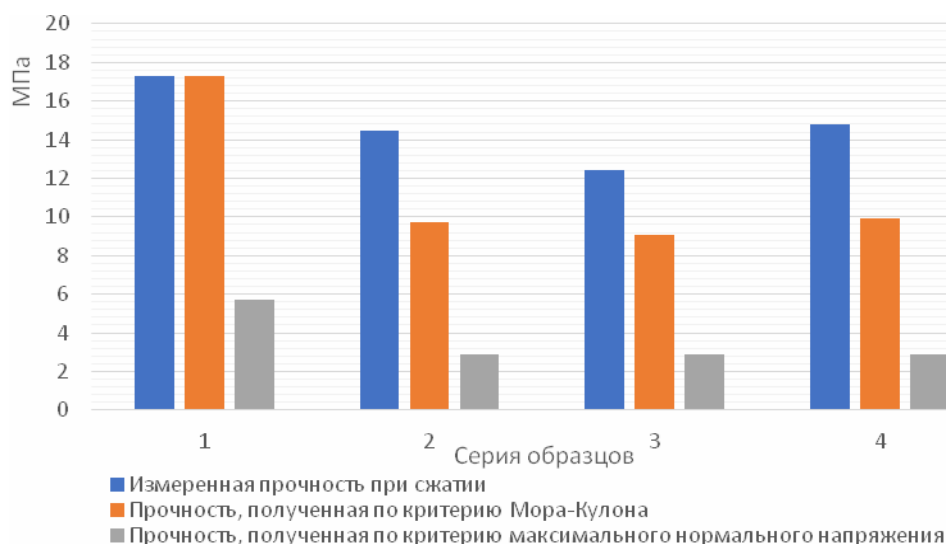


Рис. 7. Диаграмма прочности экспериментальных образцов и 3D-моделей

По полученным результатам можно сделать вывод, что численное моделирование с использованием критерия разрушения Мора – Кулона показывает наибольшее совпадение с результатами лабораторных экспериментов. Расхождение результатов обусловлено рядом факторов несоответствия структуры 3D-модели и лабораторных образцов. Прочность, полученная в результате компьютерного моделирования, меньше средней прочности, установленной при испытаниях. Это может быть объяснено возникновением локальных напряжений, не приводящих к фактическому разрушению образца, но влияющих на вычисляемое в программе значение K_{\min} .

Список литературы

1. Лурье, С.А. Методика численного моделирования механических свойств пористых теплозащитных материалов на основе керамических волокон / С.А. Лурье, Л.Н., Рабинский Ю.О. Соляев, Д.В. Лизунова // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Механика. – 2016. – № 4. – С. 263–274. – DOI: 10.15593/perm.mech/2016.4.15
2. Береговой, В.А. Теплофизические свойства композиционных материалов для защиты от радиации: автореф. дис. ... канд. техн. наук / В.А. Береговой. – Пенза: ПГАСА, 1997.
3. Основы компьютерного моделирования. – URL: <https://ek-ek.jimdofree.com>
4. Грызлов, В.С. Методология «структурного подхода» в строительном материаловедении / В.С. Грызлов // Успехи современного естествознания. – 2002. – № 4. – С. 17–20.
5. Планирование эксперимента. – URL: https://studref.com/616626/tovarovedenie/osnovnye_ponyatiya_teorii_planirovaniya_eksperimenta.
6. Гонтюк, А.П. От разработки композиционных материалов и виртуальных испытаний образцов до моделирования изготовления и расчёта композитных деталей / А.П. Гонтюк // Композитный мир. – 2019. – 4 (85).
7. Padevět, P. Evolution of mechanical properties of gypsum in time / P. Padevět, P. Tesárek, T. Plachý // International Journal of Mechanics. – 2011. – Iss. 1, Vol. 5.
8. Plachý, T. Determination of Poisson's ratio of gypsum materials / T. Plachý, H. Němcová, P. Tesárek, A. Hájková // Experimental Stress Analysis. – 2011. – Iss. 1.
9. Soroka, I. Interrelation of hardness, modulus of elasticity, and porosity in various gypsum systems / I. Soroka, P.J. Sereda // Journal of the American Ceramic Society. – Vol.51, Iss.6. – P. 337–340.

References

1. Lurie, S.A. Methodology of numerical modelling of mechanical properties of porous heat-shielding material based on ceramic fibers / S.A. Lurie, L.N. Rabinskii, Y.O. Solyaev, D.V. Lizunova // PNRPU Mechanics Bulletin. – 2016. – No. 4. – P. 263–274. – DOI: 10.15593/perm.mech/2016.4.15
2. Beregovoy, V.A. Thermophysical properties of composite materials for radiation protection: abstract of the dissertation of Candidate of Sciences / V.A. Beregovoy. – Penza: Penza State University of Architecture and Construction the academy, 1997.
3. Fundamentals of Computer Modeling. – URL: <https://ek-ek.jimdofree.com>
4. Gryzlov, V.S. Methodology of Structural Approach in Construction Materials Science / V.S. Gryzlov // Successes of Modern Natural Science. – 2002. – No. 4. – P/ 17–20.
5. Experiment Planning. – URL: https://studref.com/616626/tovarovedenie/osnovnye_ponyatiya_teorii_planirovaniya_eksperimenta.
6. Gontyuk, A.P. From the Development of Composite Materials and Virtual Testing of Samples to Modeling of Manufacturing and Calculation of Composite Details / A.P. Gontyuk // Composite World. 4 (85) 2019.
7. Padevět, P. Evolution of mechanical properties of gypsum in time / P. Padevět, P. Tesárek, T. Plachý // International Journal of Mechanics. – 2011. – Issue 1, Vol. 5.
8. Plachý, T. Determination of Poisson's ratio of gypsum materials / T. Plachý, H. Němcová, P. Tesárek, A. Hájková // Experimental Stress Analysis. – 2011. – Issue 1.
9. Soroka, I. Interrelation of hardness, modulus of elasticity, and porosity in various gypsum systems / I. Soroka, P.J. Sereda // Journal of the American Ceramic Society. – Vol.51, Iss.6. – P. 337–340.