

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

Перевод О.В. Гринцова

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

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

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

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

# ВЕСТНИК ПГУАС: СТРОИТЕЛЬСТВО, НАУКА И ОБРАЗОВАНИЕ 1(16)/2023

## Содержание

СТРОИТЕЛЬСТВО. АРХИТЕКТУРА.....	4
<b>Береговой А.М., Герасимов А.В., Махмудов М.Г.</b> ЗАГЛУБЛЕННОЕ ЗДАНИЕ, ПОДОГРЕВАЕМОЕ ТЕПЛОМ РАССЕЯННОЙ ЭНЕРГИИ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ .....	4
<b>Береговой В.А., Лавров И.Ю., Шурыгин И.С., Махмудов М.Г.</b> ПЕРЕНОСНОЙ КАЛОРИМЕТР ДЛЯ РЕШЕНИЯ РЕЦЕПТУРНЫХ ЗАДАЧ В ОБЛАСТИ ПРАКТИЧЕСКОГО БЕТОНОВЕДЕНИЯ.....	8
<b>Береговой В.А., Махамбетова К.Н., Лавров И.Ю., Востоков Ф.А.</b> ПЕРСПЕКТИВЫ ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЯ СЫРЬЕВЫХ КОМПОНЕНТОВ ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННОГО ДИСПЕРСНО-АРМИРОВАННОГО БЕТОНА И ИССЛЕДОВАНИЕ ЕГО ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ .....	16
<b>Глухов В.С., Гаврилов П.К., Гурькова С.Ю.</b> ОЦЕНКА НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ПРИЗМАТИЧЕСКИХ СВАЙ ПРИ ОБСЛЕДОВАНИИ ФУНДАМЕНТОВ .....	22
<b>Глухов В.С., Рябов Д.А.</b> ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ СВАЙНО-ПЛИТНОГО ФУНДАМЕНТА ВЫСОТНОГО ЗДАНИЯ .....	30
<b>Грачева Ю.В., Тарасеева Н.И., Крылов А.С., Веселов П.И., Моршанкин В.А.</b> ИСПЫТАНИЯ МЕСТНЫХ ПРИРОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ПРЕДМЕТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В КАЧЕСТВЕ ГРУНТОВОГО ОСНОВАНИЯ ДЛЯ ОБЪЕКТОВ СТРОИТЕЛЬСТВА.....	36
<b>Кислицына С.Н.</b> ВЫБОР МИНЕРАЛЬНОЙ ЧАСТИ ГИБРИДНОЙ ДОБАВКИ .....	42

<b>Коровкин М.О., Ерошкина Н.А., Егоров А.Ю.</b> ВЛИЯНИЕ ХИМИЧЕСКИХ ДОБАВОК НА ВОДОПОГЛОЩЕНИЕ САМОУПЛОТНЯЮЩЕГОСЯ БЕТОНА, ИЗГОТОВЛЕННОГО С ПРИМЕНЕНИЕМ ВТОРИЧНОГО ЗАПОЛНИТЕЛЯ ..... 47	<b>ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ НАУКИ</b> ..... 75
<b>Панкина М.В., Янгуразов Ю.Р., Шадрин И.В.</b> ПРИЧИНЫ НЕРАВНОМЕРНЫХ ОСАДОК ФУНДАМЕНТОВ ..... 53	<b>Каргина Е.М., Стешин К.М.</b> АНАЛИЗ МЕХАНИЗМОВ ЛЕКСИКАЛИЗАЦИИ ЯЗЫКОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ РАЗНЫХ УРОВНЕЙ В ПРОЦЕССЕ ИЗУЧЕНИЯ ИНОСТРАННОГО ЯЗЫКА ..... 75
<b>Шитова И.Ю., Туманов А.В.</b> ПРИМЕНЕНИЕ ОСНОВ ТЕРМОДИНАМИКИ В СТРОИТЕЛЬНОМ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИИ НА ПРИМЕРЕ ВЫБОРА ДИСПЕРСНОЙ ФАЗЫ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ СЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ ..... 59	<b>МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ И КОМПЛЕКСЫ ПРОГРАММ</b> ..... 80
<b>СТАНДАРТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ</b> ..... 64	<b>Васин Л.А., Краснов И.М.</b> ПРИМЕНЕНИЕ ЦИФРОВЫХ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В НЕЙРОХИРУРГИИ ..... 80
<b>Жегера К.В., Трошев Д.В.</b> ОЦЕНКА КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ ШКАФОВ СУШИЛЬНЫХ ДЛЯ ОВОЩЕЙ И ФРУКТОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЭЛЕМЕНТОВ ФУНКЦИОНАЛЬНО- СТОИМОСТНОГО АНАЛИЗА ..... 64	<b>Васин Л.А.</b> ПОВЫШЕНИЕ ОТКАЗОУСТОЙЧИВОСТИ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ РЕСУРСОВ УНИВЕРСИТЕТА ..... 87
<b>Макарова Л.В., Филонова Ю.Б.</b> ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИННОВАЦИОННОГО ПОТЕНЦИАЛА ОРГАНИЗАЦИИ ИТ-ОТРАСЛИ ..... 70	<b>Кузина В.В., Сёмочкина В.О.</b> ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ В ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ ..... 93
	<b>Литвинская О.С.</b> МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ «УМНЫЙ ДОМ» В СРЕДЕ CISCO PACKET TRASER ..... 101

---

# Contents

<b>CONSTRUCTION. ARCHITECTURE . 4</b>	
<b>Beregovoy A.M., Gerasimov A.V.</b> BURIED BUILDING, HEATED BY THE SCATTERED ENERGY OF NATURAL ENVIRONMENT ..... 4	
<b>Beregovoy V.A., Lavrov I.Yu., Shurygin I.S., Makhmudov M.G.</b> PORTABLE CALORIMETER FOR SOLVING PRESCRIPTION PROBLEMS IN THE FIELD OF PRACTICAL CONCRETE SCIENCE..... 8	
<b>Beregovoy V.A., Makhambetova K.N., Lavrov I.Y., Vostokov Ph.A.</b> PROSPECTS FOR IMPORT SUBSTITUTION OF RAW MATERIALS COMPONENTS OF HIGH-QUALITY DISPERSED REINFORCED CONCRETE AND THE STUDY OF ITS PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES ..... 16	
<b>Glukhov V.S., Gavrilov P.K., Gurkova S.Yu.</b> ASSESSMENT OF PRISMATIC PILES BEARING CAPACITY DURING FOUNDATIONS SURVEY ..... 22	
<b>Glukhov V.S., Ryabov D.A.</b> JUSTIFICATION OF THE USE OF PILE- SLAB FOUNDATION OF A HIGH-RISE BUILDING ..... 30	
<b>Gracheva Yu.V., Taraseeva N.I., Krylov A.S., Veselov P.I., Morshankin V.A.</b> TESTING LOCAL NATURAL MATERIALS FOR THE USE AS A SUBGRADE FOR CONSTRUCTION PROJECTS..... 36	
<b>Kislicina S.N.</b> SELECTION OF THE MINERAL PART OF THE HYBRID ADDITIVE ..... 42	
<b>Korovkin M.O., Eroshkina N.A., Egorov A.Yu.</b> EFFECT OF CHEMICAL ADMIXTURES ON WATER ABSORPTION OF SELF- COMPACTING CONCRETE MADE WITH RECYCLED AGGREGATE ..... 47	
<b>Pankina M.V., Yangurazov Y.R., Shadrin I.V.</b> THE CAUSES OF FOUNDATIONS IRREGULAR SETTLEMENTS ..... 53	
<b>Shitova I.Yu., Tumanov A.V.</b> APPLICATION OF THE FUNDAMENTALS OF THERMODYNAMICS IN BUILDING MATERIALS SCIENCE ON THE EXAMPLE OF THE CHOICE OF THE DISPERSED PHASE IN THE MANUFACTURE OF SULFUR COMPOSITES .....59	
<b>STANDARDIZATION AND QUALITY MANAGEMENT ..... 64</b>	
<b>Zhegera K.V., Troshev D.V.</b> ASSESSMENT OF THE COMPETITIVENESS OF DRYING CABINETS FOR VEGETABLES AND FRUITS USING ELEMENTS OF FUNCTIONAL COST ANALYSIS.....64	
<b>Makarova L.V., Filonova Y.B.</b> ASSESSMENT OF THE EFFICIENCY OF USE OF THE INNOVATIVE POTENTIAL OF THE ORGANIZATION IT INDUSTRIES..... 70	
<b>PEDAGOGICAL SCIENCES..... 75</b>	
<b>Kargina E.M., Steshin K.M.</b> ANALYSIS OF LEXICALIZATION MECHANISMS OF LANGUAGE ELEMENTS OF DIFFERENT LEVELS IN THE PROCESS OF LEARNING A FOREIGN LANGUAGE ..75	
<b>MATHEMATICAL MODELING, NUMERICAL METHODS AND SOFTWARE PACKAGES ..... 80</b>	
<b>Vasin L.A., Krasnov I.M.</b> APPLICATION OF DIGITAL ADDITIVE TECHNOLOGIES IN NEUROSURGERY .....80	
<b>Vasin L.A.</b> INCREASING THE FAULT TOLERANCE OF UNIVERSITY COMPUTING RESOURCES..87	
<b>Kuzina V.V., Syomochkina V.O.</b> ON THE USE OF ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS IN INFORMATION TECHNOLOGIES .....93	
<b>Litvinskaya O.S.</b> MODELING OF THE «SMART HOME» SYSTEM IN THE CISCO PACKET TRACER ENVIRONMENT ..... 101	

---

# СТРОИТЕЛЬСТВО. АРХИТЕКТУРА

# CONSTRUCTION. ARCHITECTURE

УДК 69.03-044.85:697:620.92

*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

**Герасимов Андрей Владимирович,**  
магистрант

**Махмудов Махсуд Гуломжонович,**  
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

**Gerasimov Andrey Vladimirovich,**  
Undergraduate

**Makhmudov Mahsud Gulomzhonovich,**  
Undergraduate  
E-mail: techbeton@pguas.ru

## ЗАГЛУБЛЕННОЕ ЗДАНИЕ, ПОДОГРЕВАЕМОЕ ТЕПЛОМ РАССЕЯННОЙ ЭНЕРГИИ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ

А.М. Береговой, А.В. Герасимов, М.Г. Махмудов

Выполнен анализ факторов влияния на тепловую эффективность заглубленных зданий. На основе расчетного моделирования исследованы способы вентиляции и подогрева возвышающегося типа здания рассеянной энергией природной среды. Дана оценка энергетического эффекта использования тепла солнечной радиации и верхнего слоя земли.

*Ключевые слова: заглубленные здания, тепло рассеянной энергии природной среды, энергоэффективность, возобновляемые источники энергии, расчетное моделирование*

## BURIED BUILDING, HEATED BY THE SCATTERED ENERGY OF NATURAL ENVIRONMENT

A.M. Beregovoy, A.V. Gerasimov

The analysis of the factors, influencing the thermal efficiency of buried buildings is completed. On the basis of computational modeling the methods of ventilation and heating with dispersed energy of the natural environment of a rising type of building are investigated. The energy effect of using the heat of solar radiation and the earthen massif is estimated.

*Keywords: buried buildings, heat of the dispersed energy of natural environment, energy efficiency, renewable energy sources, computational modeling*

В архитектурно-строительном проектировании одним из способов экономии тепловой энергии является заглубление в грунтовой массив всего здания или одной из его частей. Выполненный анализ типов заглубленных зданий показал, что на их энергоэффективность оказывает влияние целый ряд факторов, связанных с теплофизическими свойствами окружающего грунта, климатом местности, ориентацией здания, степенью заглубления здания, его вентиляцией, а также со способами использования тепла рассеянной энергии природной среды. Последние два фактора влияния на тепловую эффективность заглубленных зданий входят в задачу настоящего исследования.

Теплофизические свойства грунта характеризуются показателями его теплоемкости и теплопроводности. На объемную теплоемкость этого слоя грунта влияют минеральная природа и влагосодержание, а также температура грунта (см. таблицу) Удельная теплоемкость водонасыщенного грунта в 2...3 раза больше, чем сухого. При нагревании замерзшего грунта от -20 до +60 °С она возрастает на 10...15 %.

Удельная теплоемкость грунтов

Состав грунта	Удельная теплоемкость $C_0$ , кДж/(кг·°С)	
	в сухом состоянии	в условиях эксплуатации
Суглинок	0,96	2,4...2,5
Супесь	0,84	1,9...2,4
Чернозем	1,05	2,5...2,7
Известняк	–	0,4...1,7

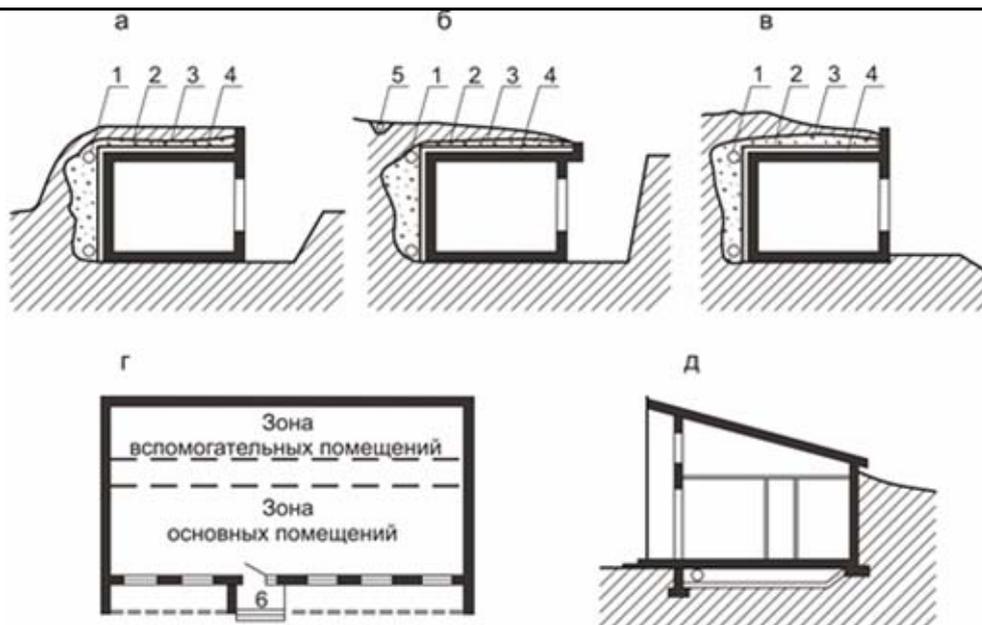
С увеличением коэффициента теплопроводности  $\lambda$  повышается теплообмен грунтового массива с подземными ограждающими конструкциями здания. Теплопроводность грунта возрастает с ростом его влажности или при введении в его состав более крупнозернистых компонентов. Например, теплопроводность песка повышается примерно в 2 раза при его увлажнении на 20 % или при замене пылевидного песка на крупнозернистый.

Количество тепла солнечной радиации, попадающей на поверхность земли и на наружные ограждения зданий, зависит от географической широты и природно-ландшафтных особенностей местности, а также от конструктивного решения и формы здания. По мере продвижения к южным широтам количество аккумулированного тепла земляным массивом увеличивается, тогда как предельная глубина промерзания грунта значительно уменьшается. На значительных территориях страны с умеренным и холодным климатом для повышения энергоэффективности небольшого здания экономически оправданным является использование на южном фасаде энергоактивной конструкции площадью в несколько квадратных метров.

При анализе такого фактора влияния на тепловую эффективность здания, как степень его заглубления, был сделан выбор типа заглубленного здания (см. рисунок). В зависимости от степени заглубления здания могут быть заглубленными, полузаглубленными и врезанными в склоны. Заглубленные здания, для которых необходимо естественное освещение, проектируют в один, реже – в два этажа. По объемно-планировочному решению такие здания классифицируются на возвышающиеся, сквозные и атриумные.

Предметом исследования являлись возвышающиеся здания, которые считаются наиболее распространенным типом зданий. Как правило, их строят на южных склонах, которые в большей степени облучаются солнечной радиацией. По всем сторонам здания, кроме южной, делают земляную обваловку, а на южной стороне располагают большинство основных помещений.

Помимо возвышающихся зданий в проектной практике встречаются здания сквозного типа. Они имеют необсыпанные земляной обваловкой участки наружных стен на нескольких сторонах здания, что уменьшает энергоэффективность здания из-за сокращения длины обвалованных участков и снижения сопротивления теплопередаче этих ограждений. Этот тип здания имеет более привлекательный внешний вид и позволяет улучшить освещение и воздушный режим его помещений.



Типы заглубленных зданий:

- а – полузаглубленные; б – заглубленные; в – врезанные в склоны;  
 г, д – план и разрез возвышающегося заглубленного здания;  
 1 – перфорированная дренажная труба; 2 – дренирующий слой; 3 – гидроизоляция;  
 4 – жесткая теплоизоляция; 5 – дренажный лоток; 6 – вход в здание

Для выбранного типа здания назначены размеры по длине, ширине и высоте соответственно 12, 10 и 5 м. В нем одновременно реализованы два возобновляемых источника энергии, что позволило достичь более значительного эффекта в экономии энергоресурсов. С этой целью разработаны конструктивные решения и устройства по использованию тепла солнечной радиации и тепла земли.

На всей площади южного фасада расположены энергоактивные элементы в виде модулей упрощенной конструкции плоского солнечного коллектора [1, 2]. Непосредственно под конструкцией цокольного перекрытия в грунтовом массиве расположена сеть тонкостенных бетонных каналов, сообщающихся с наружным воздухом и выходящих в помещения через систему воздушного отопления [3]. Выбор последней для подогрева воздуха, поступающего из каналов в холодный период года, был обусловлен тем, что, по данным опубликованных результатов исследований, наиболее эффективной в заглубленных зданиях является механическая система вентиляции. Проблема естественного освещения решается в данном здании благодаря устройству светопрозрачных проемов в конструкции его покрытия.

При засыпке котлована и устройстве обваловки для повышения теплообменных свойств грунта в его состав введены более теплоемкие материалы: камень, щебень, галечник. Такой массив грунта формирует более стабильный тепловой режим в помещениях здания за счет уменьшения амплитуды колебаний температуры внутренней воздушной среды в случае резких изменений температуры наружного воздуха.

Исследование способов применения рассеянной энергии природной среды для возвышающегося типа здания выполнено на основе расчетного моделирования по использованию тепла солнечной радиации и тепла земли [1–3].

Результаты расчетного моделирования показали:

- в условиях второго климатического района доля тепла солнечной радиации от тепловой нагрузки рассмотренного здания может составить 15 % при расположении модулей коллектора на всей площади южного фасада. Если бы площадь модулей составила 50 и 25 м<sup>2</sup>, то доля тепла  $f$  равнялась бы 12,5 и 6 % соответственно;
- устройство восьми бетонных каналов сечением 10×25 см позволяет повысить температуру поступающего в помещение воздуха в два раза по сравнению с вариантом

---

из одного канала сечением 20×100 см, а долю тепла увеличить от 26 до 40 % от величины тепловой нагрузки системы воздушного отопления данного здания.

Массив каменной обваловки способствует как уменьшению амплитуды колебаний температуры внутренней воздушной среды, так и увеличению термического сопротивления  $R$  наружных стен, что формирует более комфортный тепловой режим заглубленного здания. Определение величины  $R$  представляется сложной задачей, поскольку в объем каменной обваловки входит и объем заключенного в ней воздуха, коэффициент  $\lambda$  которого чрезвычайно низок и колеблется в диапазоне 0,022...0,027 Вт/(м·°C), в зависимости от температуры.

Что касается каменной обваловки, то, например, согласно [4], коэффициент теплопроводности  $\lambda$  известнякового камня в сухих условиях эксплуатации колеблется в пределах 0,7...2,5, а во влажных – 0,9...4,4 Вт/(м·°C).

Однако дать приближенную оценку величине  $R$  можно, если такую обваловку определенной толщины из плотно уложенного камня защитить гидро-, воздухо- и паронепроницаемым покрытием. Тогда приближенная величина  $R$  для обваловки из известнякового камня толщиной, например, в 2 м в сухих условиях эксплуатации будет выше значений 0,8 ... 2,86 м<sup>2</sup>·°C/Вт.

Устройство такой обваловки значительно уменьшит тепловые потери через три наружные стены заглубленного здания такого типа не только по причине роста сопротивления теплопередаче, но и благодаря отсутствию воздействия ветра в холодные периоды года.

### Список литературы

1. Береговой, А.М. Способы повышения энергоактивности и тепловой защиты эксплуатируемых малоэтажных жилых зданий / А.М. Береговой, И.В. Шадрин // Вестник ПГУАС. Строительство, наука и образование. – 2021. – № 1(12).
2. Береговой, А.М. Вопросы повышения энергоэффективности малоэтажных зданий / А.М. Береговой, М.А., Дерина А.Д. Пильгин // Вестник ПГУАС. Строительство, наука и образование. – 2016. – № 1(2). – С.20–24.
3. Береговой, А.М. Архитектурно-строительные основы энергосбережения / А.М. Береговой, В.А. Береговой, А.В. Гречишкин. – Пенза: ПГУАС, 2018. – 136 с.
4. Теплопроводность горных пород и минералов, их плотность и теплоемкость. – URL: thermalinfo.ru (дата обращения: 03.03.23).

### References

1. Beregovoy, A.M. Ways to increase the energy activity and thermal protection of operated low-rise residential buildings / A.M. Beregovoy, I.V. Shadrin // Bulletin of PGUAS. Construction, science and education. 2021. №1(12).
2. Beregovoy, A.M. Issues of improving the energy efficiency of low-rise buildings / A.M. Beregovoy, M.A. Derina, A.D. Pilgin // Bulletin of PGUAS. Construction, science and education. – 2016. – 1(2). – P.20–24.
3. Beregovoy, A.M. Architectural and construction foundations of energy saving / A.M. Beregovoy, V.A. Beregovoy, A.V. Grechishkin. – Penza: PGUAS, 2018. – 136 p.
4. Thermal conductivity of rocks and minerals, their density and heat capacity. – URL: thermalinfo.ru ( date of application: 03.03.23).

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»

**Лавров Иван Юрьевич**,  
аспирант

**Шурыгин Илья Сергеевич**,  
магистрант

**Махмудов Махсуд Гуломжонович**,  
магистрант  
E-mail: techbeton@pguas.ru

*Penza State University of Architecture  
and Construction*

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

**Beregovoy Vitaly Aleksandrovich**,  
Doctor of Science, Professor,  
Head of the department «Building Materials and  
Woodworking Technology»

**Lavrov Ivan Yurievich**,  
Postgraduate student

**Shurygin Ilya Sergeevich**,  
Master's student

**Makhmudov Mahsud Gulomzhonovich**,  
master's student  
E-mail: techbeton@pguas.ru

## ПЕРЕНОСНОЙ КАЛОРИМЕТР ДЛЯ РЕШЕНИЯ РЕЦЕПТУРНЫХ ЗАДАЧ В ОБЛАСТИ ПРАКТИЧЕСКОГО БЕТОНОВЕДЕНИЯ

V.A. Береговой, И.Ю. Лавров, И.С. Шурыгин, М.Г. Махмудов

Выполнен анализ калориметрических методов, применяемых для решения рецептурно-технологических задач современного бетоноведения. На основе эксперимента показана целесообразность использования разработанного полуадиабатического калориметра с целью оценки характера влияния пластифицирующей добавки на процесс гидратации цемента.

*Ключевые слова: эффективность добавок, гидратация цемента, бетоны, калориметрия*

## PORTABLE CALORIMETER FOR SOLVING PRESCRIPTION PROBLEMS IN THE FIELD OF PRACTICAL CONCRETE SCIENCE

V.A. Beregovoy, I.Yu. Lavrov, I.S. Shurygin, M.G. Makhmudov

The analysis of calorimetric methods used to solve compounding and technological problems of modern concrete science is carried out. Based on the experiment, the expediency of using the developed semi-adiabatic calorimeter in order to assess the nature of the effect of the plasticizing additive on cement hydration process is shown.

*Keywords: additive efficiency, cement hydration, concretes, calorimetry*

Одним из перспективных методов оценки влияния рецептурных и технологических факторов на гидратацию цементных материалов является калориметрия. Действующий в настоящее время ГОСТ 24316-2022 предполагает использование методов адиабатической калориметрии для оценки тепловыделения твердеющего бетона путем снятия показаний скорости подъема температуры и выполнения последующих расчетов. Измерения проводят с помощью калориметра (рис. 1), основу которого составляет теплоизолированная камера, снабженная терморегулирующим устройством для автоматического поддержания адиабатического режима твердения (отклонение температуры среды от температуры бетона  $\pm 0,2^{\circ}\text{C}$ ).

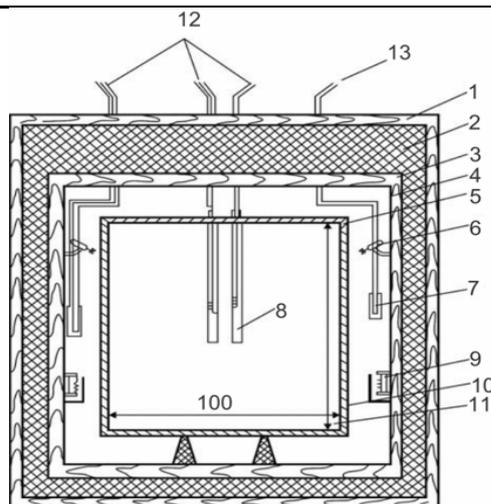


Рис. 1. Схема адиабатического калориметра:

- 1 – внешний корпус; 2 – теплоизоляция; 3 – внутренняя обшивка, 4 – отражающий слой;  
 5 – крышка формы; 6 – вентилятор; 7 – термометр сопротивления; 8 – медная гильза;  
 9 – нагревательный элемент; 10 – форма для бетонной смеси; 11 – бетон;  
 12 – выходы для электронного моста, регистрирующего температуру в камере и в бетоне;  
 13 – выходы к термостату

В странах ЕС и США приняты стандарты DIN EN 12390-14 и ASTM C1753, основанные на использовании полуадиабатического калориметра для решения задач бетоноведения. А.В. Ушеров-Маршак с сотрудниками также рассматривают [1, 2] полуадиабатическую калориметрию как перспективный метод оценки функциональной совместимости пластифицирующих добавок с цементным вяжущим. Другие авторы используют дифференциальную сканирующую [3] и изотермическую [4, 5] калориметрию для исследования кинетики гидратации полиминеральных цементных композиций. В работах [6, 7] обосновывается применение полуадиабатической калориметрии для определения активности цементных вяжущих. Bentz и Ardani [8] применяют комбинацию методов полуадиабатической и изотермической калориметрии при исследовании гидратации цемента с минеральными добавками.

Суммируя вышеизложенное, можно сделать вывод, что методы калориметрии, используемые в строительном материаловедении, имеют свои положительные и отрицательные качества. Так, применение изотермической калориметрии позволяет производить точные измерения малых тепловых потоков, но не учитывает эффекты, связанные с саморазогревом бетонной смеси, кроме того, изотермические калориметры – это дорогостоящие и технически сложные приборы. Применение изотермической калориметрии для оценки традиционных бетонов осложнено наличием в составе материала значительного количества полифракционных заполнителей, различающихся по теплофизическим показателям.

Результаты адиабатических методов могут быть искажены из-за влияния экзотермического нагрева твердеющей смеси, что актуально при исследовании высокоактивных вяжущих. Чтобы этого избежать, необходимо поддерживать стабильную температуру оболочки адиабатического калориметра с помощью специализированных термостатов. Условия твердения, наиболее приближенные к адиабатическим, создаются в процессе пропаривания бетона или бетонирования массивных конструкций. В практике монолитного строительства большинство вариантов твердения железобетона являются полуадиабатическими. Очевидно, с этим фактом связан рост популярности термосных (полуадиабатических) калориметров, применяемых для решения бетоноведческих задач в научных [1, 8, 9] и заводских лабораториях [7, 10].

В США фирмой Calmetrix Inc. выпускается переносной полуадиабатический калориметр F-Cal, измеряющий температуру гидратации цемента и предназначенный для моделирования процесса бетонирования конструкций (рис. 2, а). В Харьковском

национальном университете строительства и архитектуры разработан термосный калориметр сравнения «Будиндустрия ЛТД» УСК-2 (рис.2, б).

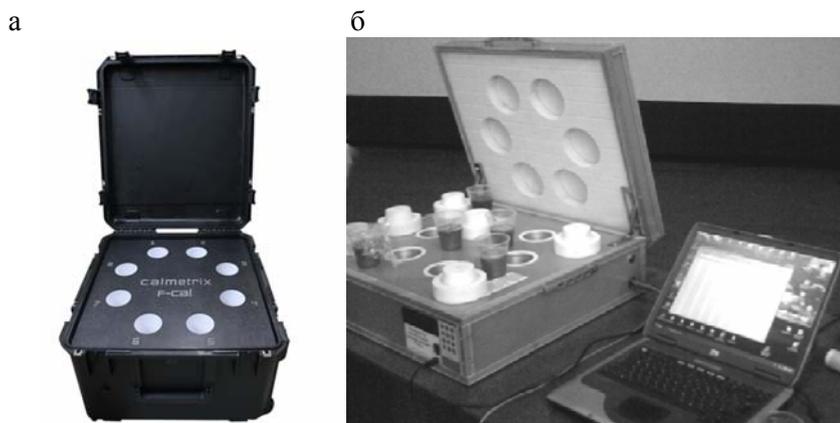


Рис. 2. Полуадиабатические калориметры для исследований бетона:  
а – F-Cal (США); б – УСК-2 (Украина)

Результатами измерений являются температурные кривые твердеющего цементного раствора (рис. 3).

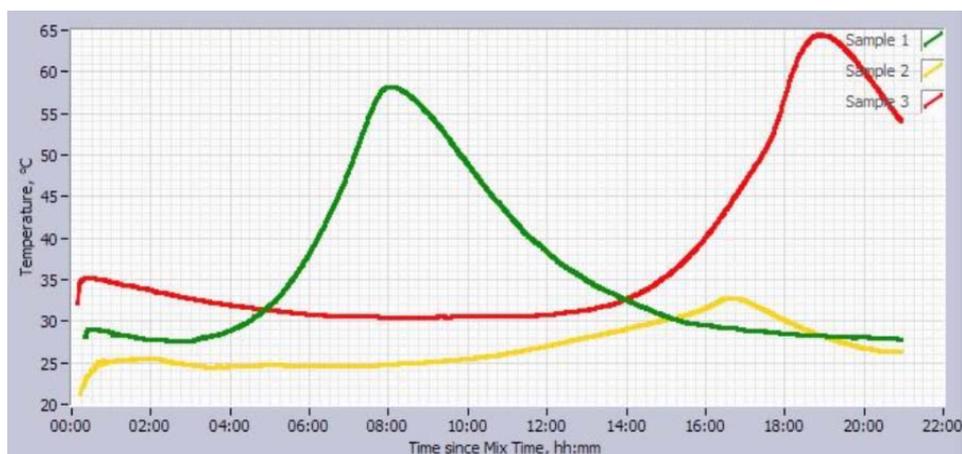


Рис. 3. Температурные кривые, полученные на установке F-Cal

Для математического описания кинетики тепловыделения при твердении цемента используют видоизмененное уравнение Аврами [11]. С его помощью получают сигмоиду, аппроксимирующую процесс ранней гидратации вяжущего, связанный с нуклеацией и последующим ростом гидратных новообразований:

$$\alpha = 1 - e^{-kt^n}, \quad (1)$$

где  $\alpha$  – степень гидратации вяжущего;  $t$  – время;  $k$  и  $n$  – постоянные, зависящие от типа цемента и преобладающего механизма реакции.

Учитывая положительный опыт применения и имеющиеся перспективы совершенствования термосных калориметров, на кафедре ТСМиД (ПГУАС) разработали работающие прототипы аналогичных устройств.

Первый прототип экспериментального калориметра представлен на рис. 4. Конструкция прибора разрабатывалась на основе существующих образцов (см. рис. 2) с учетом результатов предварительных экспериментов и данных численного моделирования.

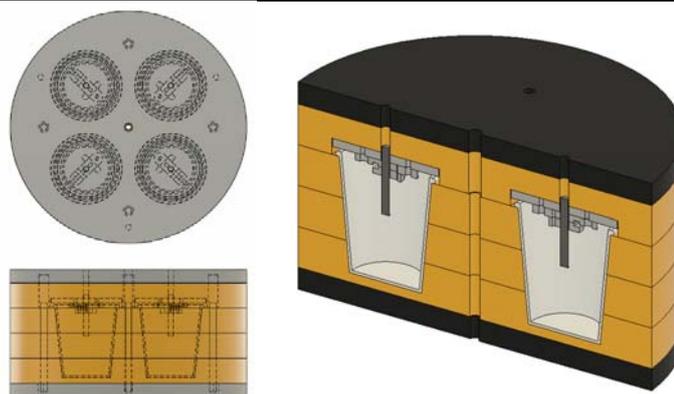


Рис. 4. Прототип модели полуадиабатического калориметра для одновременного испытания трёх составов (ПГУАС)

Основой конструкции является блок из экструдированного пенополистирола, имеющий четыре глухих конических отверстия для установки емкостей с пробами. Калориметр комплектуется теплоизолирующей крышкой из пенополистирола, снабженной термодатчиками. В качестве датчиков температуры использованы программируемые термометры типа ds18b20 с цифровым выходом, подключаемые по шине 1-Wire. Диапазон регистрируемых температур от  $-55^{\circ}\text{C}$  до  $+125^{\circ}\text{C}$ . Калибровкой и добавлением кривых поправок, а также статистической обработкой удалось обеспечить фактическую погрешность измерительной системы  $\pm 0,2^{\circ}\text{C}$  в температурном диапазоне  $20...80^{\circ}\text{C}$ .

Значения температуры с заданной частотой поступали на микроконтроллер, а затем – в компьютер, через последовательный порт. Пример термометрических кривых, построенных по экспериментальным данным, приведён на рис. 5.

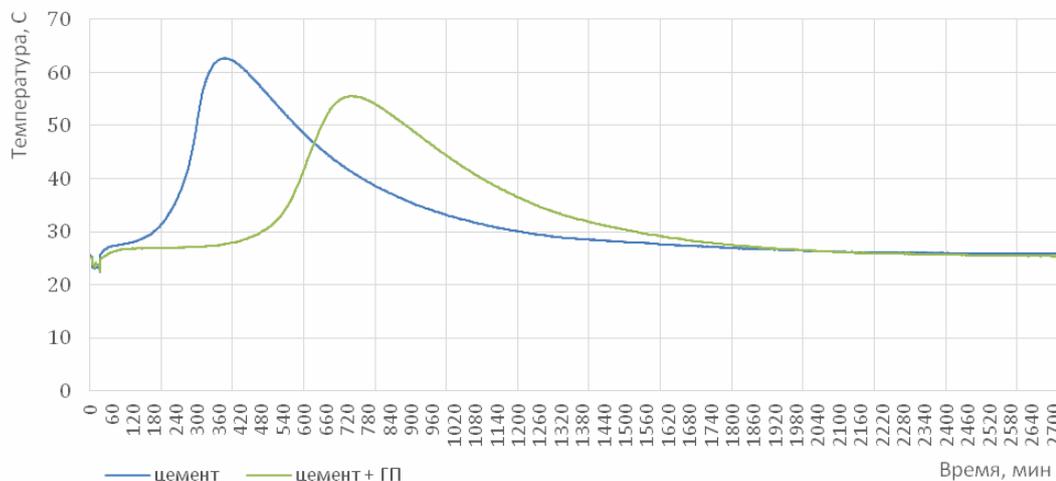


Рис. 5. Термометрические кривые гидратации цемента (ЦЕМ I 42.5Н) и смеси «цемент+ 1 % Melflux 5581f» (при В/Ц = 0,5)

Разработка прошла апробацию в ходе исследовательской деятельности кафедры ТСМиД [12] и в целом зарекомендовала себя с положительной стороны, однако был отмечен ряд недостатков:

- необходимость одновременной загрузки проб, что усложняет работу экспериментатора;
- проявление температурного взаимовлияния проб, что наглядно проявляется в повышении температуры суспензии микроальцита в воде на  $0,2...2,0^{\circ}\text{C}$  при протекании экзотермических реакций в соседних ячейках калориметра;
- потребность в постоянном подключении прибора к ПК и сети электропитания;
- недостаточное количество калориметрических ячеек (4 шт.), что ограничивает число исследуемых составов до 3 (при использовании одного эталонного состава).

В соответствии с вышеизложенными тезисами была спроектирована модернизированная версия калориметра. Основные задачи, заложенные при проектировании, и отличие от ныне существующих промышленных моделей заключаются в следующем:

- возможность автономной работы без постоянного подключения к персональному компьютеру и электрической сети;
- изолированный доступ к внутреннему объёму каждой калориметрической ячейки, упрощающий работу и исключающий возможность теплового дрейфа базовой линии от многократного открытия общей изолирующей крышки прибора;
- гидро- и пароизоляция содержимого калориметрической ячейки на всём протяжении эксперимента;
- максимальное использование широкодоступных материалов и комплектующих;
- разработка программы микроконтроллера для автоматизации обработки экспериментальных данных;
- возможность быстрой перекомпоновки (добавление дополнительных калориметрических ячеек, смена вида теплоизоляции и температурных датчиков).

В результате был разработан лабораторный калориметрический комплекс. Его основу составляют отдельные калориметрические ячейки (рис. 6). Термодатчики объединены в сеть с микроконтроллером, а также блоком управления и регистрации данных в соответствии со схемой на рис. 7.

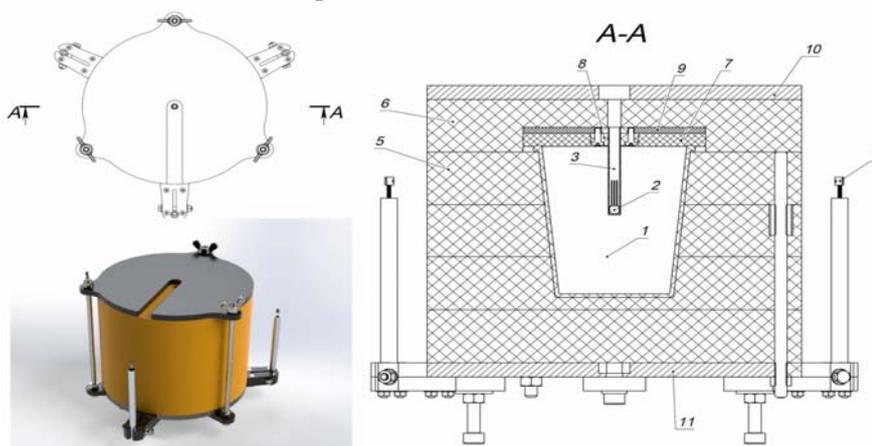


Рис. 6. Схема калориметрической ячейки модернизированного калориметра:

- 1 – объём, заполняемый исследуемой смесью; 2 – внутренний термодатчик;  
 3 – гильза термодатчика; 4 – наружные термодатчики; 5 – теплоизолирующая оболочка;  
 6 – теплоизолирующая крышка; 7 – уплотнитель; 8 – резиновая манжета;  
 9 – крепежная пластина; 10 – прижимная пластина; 11 – основание

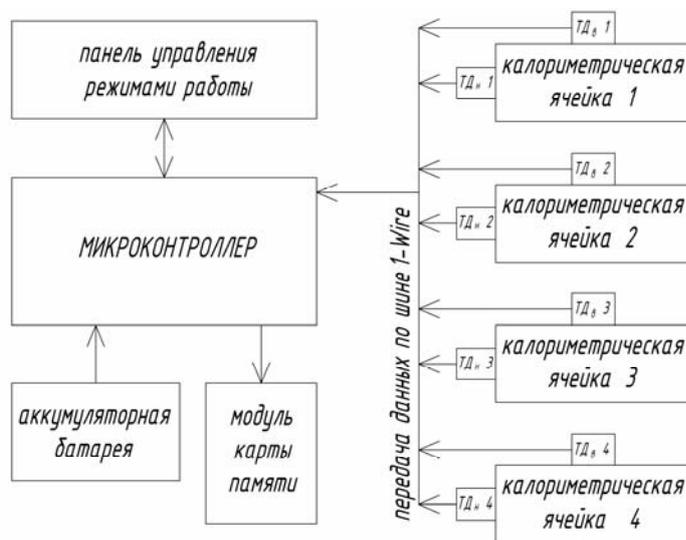


Рис. 7. Блок-схема разработанного комплекса

Теплоизолирующая оболочка и крышка изготавливались из экструдированного пенополистирола методом фрезерования. Гильза с термодатчиком (ТД<sub>в</sub> на схеме) фиксируется резиновой манжетой. Для предотвращения испарения жидкости стакан внутри ячейки герметически закрывается пароизолирующим уплотнителем из пенополиэтилена.

Для определения наружной температуры используются три термодатчика (ТД<sub>н</sub>), по показаниям которых в режиме реального времени строится температурное поле. Вместе с предварительной калибровкой это повышает точность определения тепловых потерь прибора и позволяет производить последовательную загрузку проб в калориметр, исключая негативное влияние на достоверность получаемых данных.

Температурные данные записываются с заданной периодичностью на подключаемую к микроконтроллеру карту памяти. Электропитание комплекса осуществляется от аккумулятора с напряжением 5V. Общая потребляемая электрическая мощность не превышает 2 Вт. Подключение всех кабелей осуществляется через быстроразъемные соединения стандарта mini-jack.

Сравнение изображений стандартных (см. рис. 2, 4) и разработанного (см. рис. 6) калориметров показывает, что внесенные изменения упрощают процесс изготовления устройства, повышают автономность его работы и ускоряют процесс подготовки к измерениям непосредственно на месте формирования и укладки смеси.

На рис. 8 показана компоновка с четырьмя калориметрическими ячейками.



Рис. 8. Процесс исследования гидратации цемента с помощью модернизированного калориметра

На рис. 9 приведены температурные кривые, построенные с использованием модернизированного калориметра.

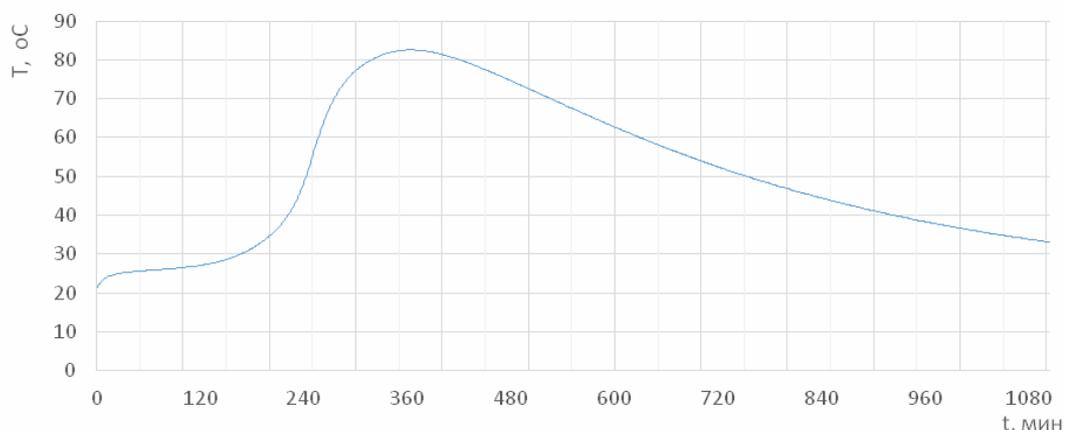


Рис. 9. Пример термометрической кривой, полученной при гидратации ПЦБ ЦЕМ I 52.5Н (В/Ц = 0.5)

---

**Выводы.** Анализ результатов проведенных экспериментов свидетельствует о целесообразности применения полуадиабатической калориметрии для решения следующих рецептурно-технологических задач в области бетоноведения: оценка совместимости добавок с цементом; влияние химических модификаторов на сроки схватывания и набор ранней прочности; входной контроль бетонных смесей для массивных сооружений, в отношении которых действуют ограничения по внутренним напряжениям, связанным с экзотермией твердеющего цемента.

При достаточной чувствительности метод полуадиабатической калориметрии является экспрессным, что предопределяет его эффективное использование в условиях строительных площадок и заводских лабораторий.

### Список литературы

1. Ушеров-Маршак, А.В. Функциональная совместимость в системе «цемент – добавка» и возможности ее количественной оценки / А.В. Ушеров-Маршак, А.В. Кабусь // Инновации в бетоноведении, строительном производстве и подготовке инженерных кадров: сборник статей по материалам МНТК, посвященной 100-летию со дня рождения И.Н. Ахвердова и С.С. Атаева (Минск, 9-10 июня 2016 г.): в 2 ч. / Белорусский национальный технический университет. – Минск, 2016. – Ч. 1. – С. 16–21.
2. Usharov-Marshak, A. Estimation of Influence of New Generation Admixtures of Early Hydration of Cements / A. Usharov-Marshak, O. Zlatkovskyy, M. Ciak // Intern. Conf. on Durability of High-Performance concrete “Conlife”. – Freiburg, 2004. – P. 63–69.
3. Воронов, В.В. Особенности гидратации и твердения полиминеральных композиционных вяжущих для пенобетонов / В.В. Воронов, Е.С. Глаголев // Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии. – 2020. – Vol. 17, № 1 (71). – С. 122–135.
4. Иванов, И.М. Влияние водоцементного отношения и суперпластификаторов на процессы тепловыделения, гидратации и твердения цемента / И.М. Иванов, Д.В. Матвеев, А.А. Орлов, Л.Я. Крамар // Вестник ЮУрГУ. Серия: Строительство и архитектура. – 2017. – №2. – С. 42–49.
5. Баранник, Н.В. Определение тепловыделения бетона при его твердении в изотермических условиях / Н.В. Баранник, С.В. Котов, Е.С. Потапова, С.С. Малахин // Вестник НИЦ «Строительство». – 2022. – № 2. – С. 44–62.
6. Мчедлов-Петросян, О.П. Тепловыделение при твердении вяжущих веществ и бетонов / О.П. Мчедлов-Петросян, А.В. Ушеров-Маршак, А.М. Урженко. – М.: Стройиздат, 1984.
7. Бибик, М.С. Оценка кинетики твердения цементного камня с использованием термодатчиков системы «Термохрон» / М.С. Бибик, В.В. Бабицкий // Строительная наука и техника. – 2010. – №4. – С. 23–26.
8. Bentz, D. Multi-scale investigation of the performance of limestone in concrete / D. Bentz // Construction and Building Materials. – 2014. – Vol. 75.
9. Ушеров-Маршак, А.В. Универсальный калориметрический комплекс для анализа тепловыделения вяжущих и бетонов / А.В. Ушеров-Маршак // Метрологія та вимірвальна техніка: VII міжн. наук.-техн. конф. – Харків, 2010. – Р. 12–14.
10. Ушеров-Маршак, А.В. Состояние и перспективы использования калориметрии в технологии цемента и бетона / А.В. Ушеров-Маршак // VIII МНТК «Метрология и измерительная техника». – Харків, 2012. – Р. 296–299.
11. Костойя, М. Синтез и гидратация трехкальциевого силиката / М. Костойя, Ш. Бишнои, Э. Галлуччи, К.Л. Скривенер // Цемент и его применение. – 2010. – №5.
12. Береговой, В.А. Исследование влияния суперабсорбирующих и минеральных добавок на поверхностное натяжение растворов гиперпластификаторов / В.А. Береговой, И.Ю. Лавров, И.С. Шурыгин // Вестник ПГУАС: строительство, наука и образование. – 2022. – №2(15) – С. 3–8.

---

## References

1. Ushero-Marshak, A.V. Functional compatibility in the «Cement additive» system and the possibilities of its quantitative assessment / A.V. Ushero-Marshak, A.V. Kabus // Innovations in concrete science, construction production and training of engineering personnel: a collection of articles based on the materials of the International Scientific and Technical Conference dedicated to the 100th anniversary of the birth I.N. Akhverdova and S.S. Ataeva (Minsk, June 9-10, 2016): at 2 a.m. / Belarusian National Technical University. – Minsk, 2016. – Part 1. – P. 16–21.
2. Ushero-Marshak, A. Estimation of Influence of New Generation Admixtures of Early Hydration of Cements / A. Ushero-Marshak, O. Zlatkovsky, M. Ciak // Intern. Conf. on Durability of High-Performance concrete “Conlife”. – Freiburg, 2004. – P. 63–69.
3. Voronov, V.V. Features of hydration and hardening of polymineral composite binders for foam concrete / V.V. Voronov, E.S. Glagolev // Bulletin of the Siberian State Automobile and Road Academy. – 2020. – Vol. 17, No. 1 (71). – P. 122–135.
4. Ivanov, I.M. The influence of water-cement ratio and superplasticizers on the processes of heat release, hydration and hardening of cement / I.M. Ivanov, D.V. Matveev, A.A. Orlov, L.Ya. Kramar // Bulletin of SUSU. Series: Construction and Architecture. – 2017. – No.2. – P. 42–49.
5. Barannik, N.V. Determination of heat release of concrete during its hardening under isothermal conditions / N.V. Barannik, S.V. Kotov, E.S. Potapova, S.S. Malakhin // Bulletin of SIC «Construction». – 2022. – No. 2. – P. 44–62.
6. Mchedlov-Petrosyan, O.P. Heat release during hardening of binders and concretes / O.P. Mchedlov-Petrosyan, A.V. Ushero-Marshak, A.M. Urzhenko. – M.: Stroyizdat, 1984.
7. Bibik, M.S. Evaluation of the kinetics of cement stone hardening using thermosensors of the THERMOCHRON system” / M.S. Bibik, V.V. Babitsky // Construction science and technology. – 2010. – No. 4. – P. 23–26.
8. Bentz, D. Multi-scale investigation of the performance of limestone in concrete / D. Bentz // Construction and Building Materials. – 2014. – Vol. 75.
9. Ushero-Marshak, A.V. Universal calorimetric complex for the analysis of heat separation of binders and concretes / A.V. Ushero-Marshak // Metrology and measuring equipment: VII international. science and technology.. conf. – Kharkiv, 2010. – P. 12–14.
10. Ushero-Marshak, A.V. The state and prospects of using calorimetry in cement and concrete technology / A.V. Ushero-Marshak // VIII ISTC «Metrology and measuring equipment». – Harkiv, 2012. – P. 296–299.
11. Kostoya, M. Scrivener. Synthesis and hydration of tricalcium silicate / M. Kostoya, S. Bishnoi, E. Gallucci, K.L. Scrivener. // Cement and its application. – 2010. – No. 5.
12. Beregovoy, V.A. Investigation of the effect of superabsorbent and mineral additives on the surface tension of hyperplasticizer solutions / V.A. Beregovoy, I.Y. Lavrov, I.S. Shurygin // Bulletin of PGUAS: Construction, Science and Education. – 2022. – No.2(15) – P. 3–8.

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  
E-mail: vabereg@rambler.ru

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

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

**Востоков Филипп Андреевич,**  
студент  
E-mail: vasya404@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

**Beregovoy Vitaly Aleksandrovich,**  
Doctor of Sciences, Professor  
E-mail: vabereg@rambler.ru

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

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

**Vostokov Philip Andreevich,**  
student  
E-mail: vasya404@inbox.ru

## ПЕРСПЕКТИВЫ ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЯ СЫРЬЕВЫХ КОМПОНЕНТОВ ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННОГО ДИСПЕРСНО-АРМИРОВАННОГО БЕТОНА И ИССЛЕДОВАНИЕ ЕГО ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ

В.А. Береговой, К.Н. Махамбетова, И.Ю. Лавров, Ф.А. Востоков

Представлены результаты исследования по получению высокопрочных дисперсно-армированных бетонов на основе отечественных компонентов. Установлено, что увеличение дозировки волокон в диапазоне 1-3 % сопровождается ростом прочности на изгиб и на сжатие как в первые сутки, так и через 28 суток твердения по сравнению с контрольным составом. Показана перспективность замены импортных компонентов на отечественные аналоги без ухудшения качества конструкционных сталефибробетонов.

*Ключевые слова: портландцемент, кварцевый песок, гранитный заполнитель, каменная мука, микрокремнезем, гиперпластификатор, прочность при изгибе, прочность при сжатии*

## PROSPECTS FOR IMPORT SUBSTITUTION OF RAW MATERIALS COMPONENTS OF HIGH-QUALITY DISPERSED REINFORCED CONCRETE AND THE STUDY OF ITS PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES

V.A. Beregovoy, K.N. Makhambetova, I.Y. Lavrov, Ph.A. Vostokov

The article presents the results of study the production of high-strength dispersed reinforced concrete based on domestic components. It is found that an increase in the dosage of fibers in the range of 1-3 % is accompanied by an increase in flexural and compressive strength, both after 1 day of hardening and after 28 days compared with the control composition. The prospects of replacing imported components with domestic analogues without deterioration of the quality of structural steel-fiber concrete are shown.

*Keywords: portlandcement, quartz sand, granite aggregate, stone flour, silica, hyperplasticizer, flexural strength, compressive strength*

Рост объемов строительства уникальных зданий и сооружений (большепролетные мосты, небоскребы, морские нефтяные платформы и др.) требует разработки новых высококачественных бетонов. В связи с этим в строительном материаловедении проводятся исследования по вопросам дисперсного армирования бетонов стальными, минеральными, углеродными волокнами. Такой подход является экономически целесообразным в связи с тем, что стоимость волокон ниже, чем стоимость традиционной стержневой арматуры.

При изготовлении некоторых видов железобетонных изделий (плиты перекрытия, фундаментные и стеновые блоки) волокна могут стать заменой стержневой арматуры, а в других массивных конструкциях волокна могут использоваться в сочетании с обычной арматурой. В обоих случаях положительный эффект обусловлен экономическими факторами, а также рационализацией технологии и повышением эксплуатационных свойств изделий. С точки зрения конструкционных свойств основной целью применения различных видов волокон в составе бетона является создание плотной однородной структуры и улучшение механических характеристик дисперсно-армированного бетона за счет способности волокон перекрывать трещины, изменяя характер разрушения материала. Этот механизм влияет как на работоспособность, так и на конечные предельные состояния [1–2]. Наличие в составе тонких и коротких стальных волокон увеличивает в 1,5–1,8 раза стоимость бетонов классов В30-В50, однако за счет резкого улучшения прочностных показателей обеспечивается общее снижение расхода бетона в конструкциях в 4 раза [3–7]. Исходя из вышеизложенного, получение высококачественных дисперсно-армированных бетонов с улучшенными физико-механическими и эксплуатационными характеристиками, позволяющих расширить области их применения, является актуальным направлением исследований.

Целью исследования являлось получение высококачественного дисперсно-армированного бетона на основе местного высокомарочного вяжущего и компонентов отечественного производства – минеральных наполнителей, микрокремнезема, заполнителей, пластифицирующих добавок и стальных волокон.

Для приготовления бетонной смеси использовали: вяжущее-портландцемент ЦЕМ0 52,5Н производства ООО «Азия Цемент» (ГОСТ 31108-2020); гиперпластификатор-поликарбоксилат Sika Visco Crete 226-P; минеральные наполнители – микрокальцит ( $S_{уд}=2500 \text{ см}^2/\text{г}$ ), микрокремнезем МК-85; тонкий кварцевый песок узкой гранулометрии двух фракций (фр. 0-0,63 мм, фр. 0,63-2,5 мм); заполнитель – гранитный отсев фр. 2,5-5 мм, а также стальную микрофибру. Приготовление сухой смеси осуществлялось путем тщательного перемешивания составляющих в турбулентной высокоскоростной мешалке при 600 об/мин в течение 10 мин, затем происходило ее одностадийное затворение водой с растворенной пластифицирующей добавкой. Далее формовались экспериментальные образцы. При оптимизации бетонной смеси исходили из выполнения следующих требований – высокая текучесть, обеспечивающая растекаемость бетонной смеси из конуса Хагермана не менее 250 мм, высокая стабильность от расслоения, незначительная пористость, высокая прочность при сжатии в ранние сроки твердения. Оценку однородности распределения фибры оценивали визуально на изломах образцов после испытания на изгиб (рис. 1).



Рис. 1. Характер излома образцов после испытания на изгиб

Разработанные составы дисперсно-армированных бетонов представлены в таблице.

Составы дисперсно-армированного бетона

Наименование компонентов	Контроль- ный	1	2	3
	Масса компонентов, кг			
ПЦ ЦЕМО 52,5Н	734	734	732	732
Микрокремнезем МК-85	59	59	59	58,7
Микроальцит	190	190	189	189
Тонкий кварцевый песок фр. 0-0,63 мм	244	243	243	243
Тонкий кварцевый песок фр. 0,63-2,5 мм	162	162	162	162
Гранитный заполнитель фр. 2,5-5 мм	831	830	829	829
Гиперпластификатор Sika 226-P	7,93	7,93	8	7,91
Вода	214	214	213	213
Фибра стальная, % от $V_{б.см}$	-	78 (1 % $V_{б.см}$ )	156 (2 % $V_{б.см}$ )	234 (3 % $V_{б.см}$ )
Водоцементное отношение (В/Ц)	0,29	0,29	0,29	0,29
Водотвердое отношение (В/Т)	0,096	0,093	0,090	0,087
$I_{цп}$	3,44	3,44	3,44	3,44
$I_{цпп}$	2,23	2,23	2,23	2,23
Диаметр расплыва смеси, $D_p$ , мм	290	262	170	не расте- кается
Относительная степень растекания, $\Gamma$	7,41	5,86	1,89	-

Растекаемость бетонной смеси оценивали по диаметру расплыва конуса с размерами 100x70x60 мм (конус Хагермана). Далее вычислялась относительная степень растекания ( $\Gamma$ ) [5]:

$$\Gamma = \left( \frac{D}{d} \right)^2 - 1,$$

где  $D$  – диаметр расплыва смеси из конуса Хагермана, мм;  $d$  – диаметр нижнего основания конуса, мм.

Выявлено снижение относительной степени растекания смеси при дозировке фибры 2 % (данная смесь не является самоуплотняющейся), а при дозировке 3 % значение относительной степени растекания смеси отсутствует (рис. 2). Смеси, которые не являются самоуплотняющимися при формовании, укладывались с послойным штыкованием.

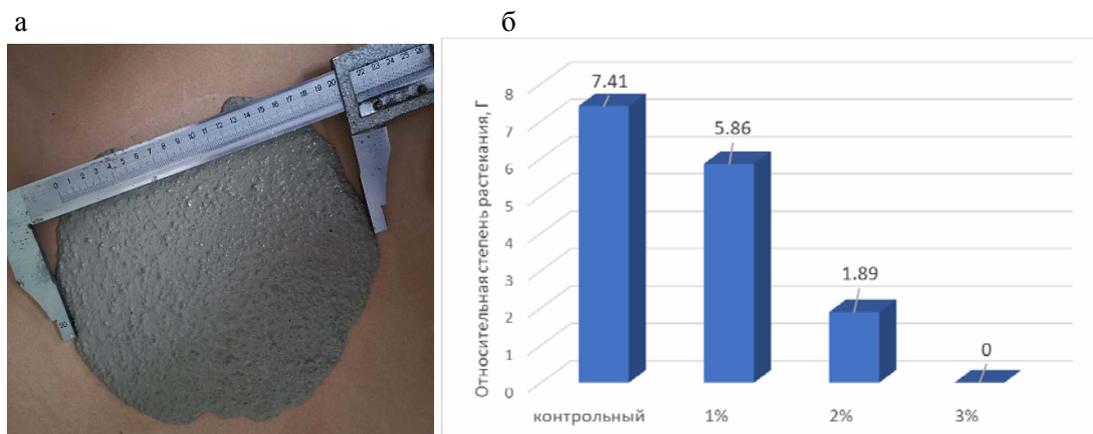
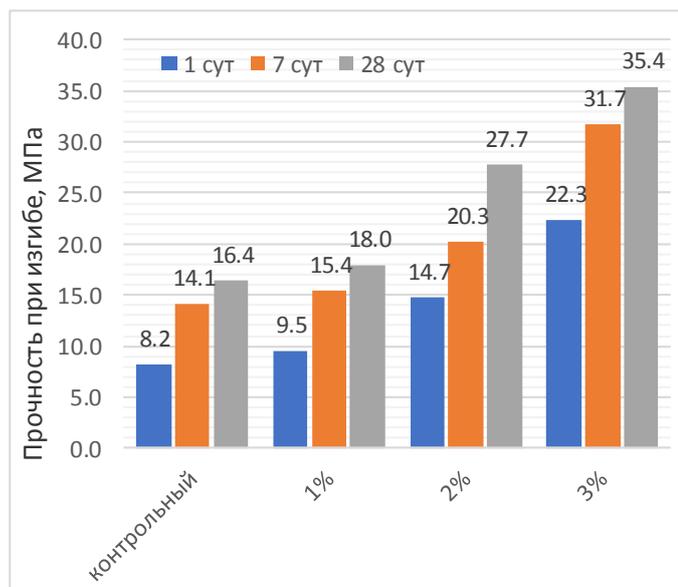


Рис. 2. Определение среднего диаметра расплыва (а) и относительной степени растекания (б) бетонной смеси

Формы с бетонной смесью помещались в камеру с нормальными температурно-влажностными условиями ( $t=22\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;  $W=98\%$ ). По истечении 24 часов твердения образцы распалубливались, часть образцов испытывалась на 1 сутки, остальные хранились в камере для дальнейшего твердения в течение 7 и 28 суток. Прочностные и деформативные характеристики бетонов оценивали с помощью стандартных методов испытаний.

Прочность при изгибе и при сжатии образцов с размерами 40x40x160 мм определялась через 1, 7 и 28 суток твердения при нормально-влажностных условиях в соответствии с ГОСТ 310.4-81 и ГОСТ 10180-2012. На рис. 3 приведены данные прочности при изгибе и при сжатии образцов.

а



б

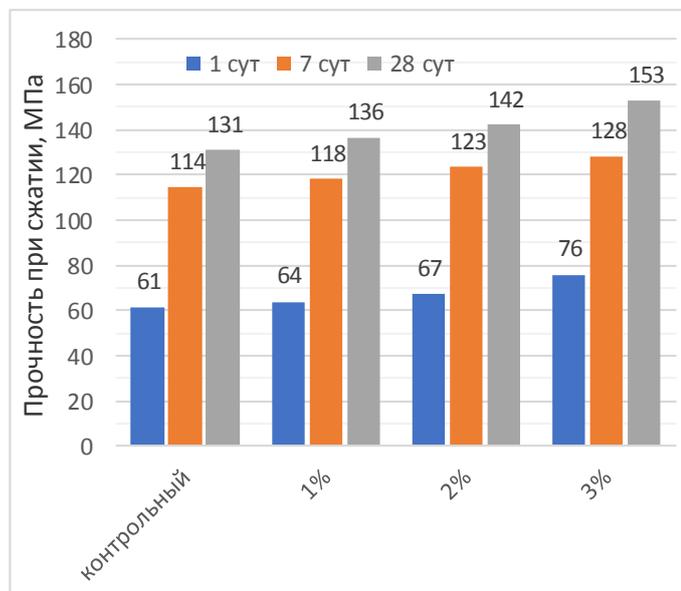


Рис. 3. Прочность при изгибе (а) и прочность при сжатии (б) дисперсно-армированного бетона

Результаты исследований показали, что прочность на сжатие бетона через 28 суток у состава с 3% волокон составила 153 МПа, что на 16,8% выше в сравнении с контрольным составом. Отмечена высокая начальная прочность (через 1 сутки) на осевое сжатие бетона у состава с 3% волокон – 76 МПа, что на 24,6% выше, чем у

контрольного состава. Все составы через первые сутки твердения набирают 47 % прочности от 28-суточной. Кроме того, дисперсно-армированные бетоны с увеличением дозировок стальных волокон показывают высокие значения прочности на изгиб как на 1-е сутки твердения, так и через 28 суток. По результатам испытаний на прочность при изгибе и при сжатии можно отметить, что наблюдаются высокие показатели образцов с увеличением дозировок волокон по сравнению с контрольным составом без волокон на протяжении всего исследуемого периода твердения.

Параллельно определялись деформативные показатели исследуемых составов по ГОСТ 24544-2020. На рис. 4 представлена кинетика изменения модуля упругости при твердении. Наилучшие результаты показывает состав с дозировкой фибры 3 %, по модулю упругости он превышает контрольный состав на 23 % в 28-суточном возрасте.

Средняя плотность бетона с повышением дозировки волокон от общего объема бетонной смеси повысилась на 4,6–6,3 % по сравнению с плотностью контрольного состава (рис. 5).

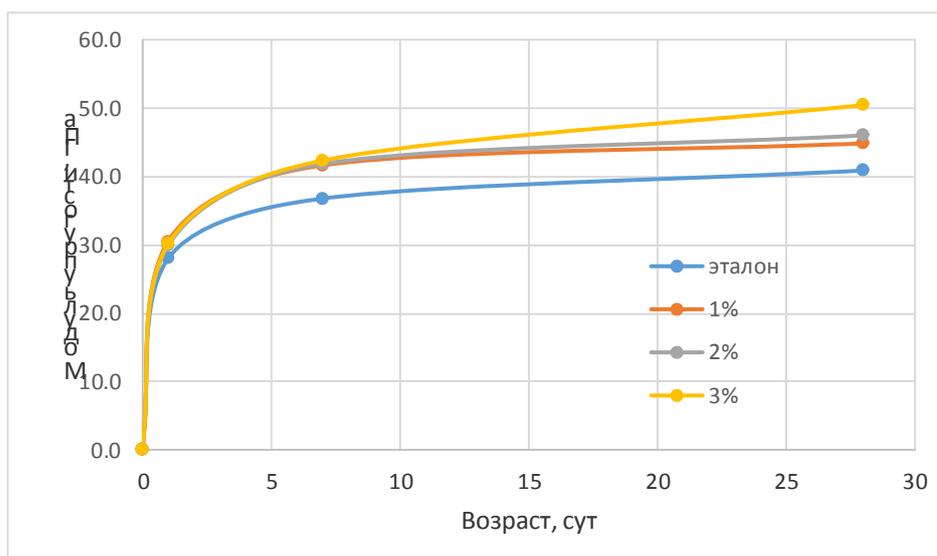


Рис. 4. Модуль упругости дисперсно-армированного бетона

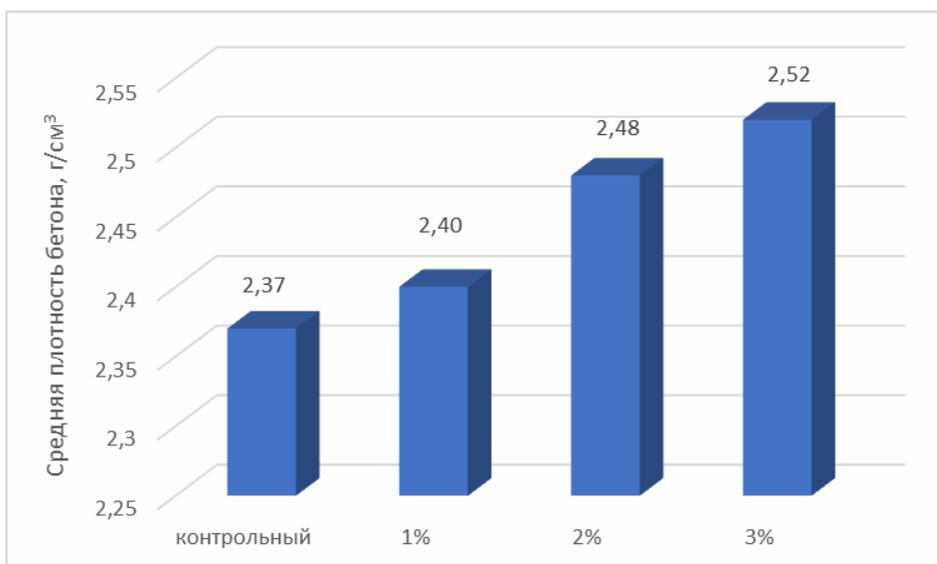


Рис. 5. Средняя плотность дисперсно-армированного бетона

**Выводы.** В результате исследований получены высокопрочные дисперсно-армированные бетоны на основе отечественных компонентов. Увеличение дозировки волокон в диапазоне 1–3 % сопровождается ростом прочности на изгиб и на сжатие,

---

как ранние сутки твердения, так и через 28 суток по сравнению с контрольным составом. Показана перспективность замены импортных компонентов на отечественные аналоги без ухудшения качества конструкционных сталефибробетонов.

### Список литературы

1. Берг, О.Я. Высокопрочный бетон / О.Я. Берг, Е.Н. Щербаков, Г.Н. Писанко. – М.: Стройиздат, 1971. – 208 с.
2. Рекомендации по технологии изготовления конструкций из высокопрочных бетонов. – М: НИИЖБ, 1987 – 25 с.
3. Калашников, В.И. Порошковые высокопрочные дисперсно-армированные бетоны нового поколения / В.И. Калашников // Популярное бетоноведение. – 2008. – № 6. – С. 5–7.
4. Баженов, Ю.М. Модифицированные высококачественные бетоны / Ю.М. Баженов, В.С. Демьянова, В.И. Калашников. – М.: АСВ, 2006. – 368 с.
5. Калашников, В.И. Самоуплотняющиеся бетоны нового поколения на основе местных сырьевых ресурсов / В.И. Калашников [и др.]. // Региональная архитектура и строительство. – 2014. – № 2. – С. 47–53.
6. Хвастунов, А.В. Производственный опыт изготовления дисперсно-армированных предварительно напряженных дорожных плит безопалубочного формования / А.В. Хвастунов, К.Н. Махамбетова, В.Л. Хвастунов, И.С. Боченков // Вестник ПГУАС: строительство, наука и образование. – 2022. – №2(15). – С. 34–38.
7. Хвастунов, В.Л. Об опыте изготовления станины разрывной малогабаритной установки из высокопрочного реакционно-порошкового бетона с низким удельным расходом цемента на единицу прочности / В.Л. Хвастунов, К.Н. Махамбетова, И.Ю. Лавров, А.В. Хвастунов // Вестник ПГУАС: строительство, наука, образование. – 2021. – №1. – С. 50–56.

### References

1. Berg, O.Ya. High strength concrete / O.Ya. Berg, E.N. Shcherbakov, G.N. Pisanko. – M.: Stroyizdat, 1971. – 208 p.
2. Recommendations on the technology of manufacturing structures from high-strength concrete. – M: NIIZhB, 1987. – 25 p.
3. Kalashnikov, V.I. Powder high-strength dispersion-reinforced concrete of a new generation / V.I. Kalashnikov // Popular concrete science. – 2008 – No. 6 – P. 5–7.
4. Bazhenov, Yu.M. Modified high-quality concretes / Yu.M. Bazhenov, V.S. Demyanova, V.I. Kalashnikov. – M.: ACB. – 2006. – 368p.
5. Kalashnikov, V.I. New generation self-compacting concretes based on local raw materials / V.I. Kalashnikov [etc.]. // Regional architecture and engineering. – 2014. – No. 2. – P. 47–53.
6. Khvastunov, A.V. Production experience in the manufacture of dispersion-reinforced prestressed road slabs without formwork / A.V. Khvastunov, K.N. Makhambetova, V.L. Khvastunov, I.S. Bochenkov // Bulletin of PGUAS: construction, science and education. – 2022. – No. 2(15). – P. 34–38.
7. Khvastunov, V.L. On the experience of manufacturing a bed of a small-sized discontinuous installation from high-strength reaction-powder concrete with low specific consumption of cement per unit of strength / V.L. Khvastunov, K.N. Makhambetova, I.Yu. Lavrov, A.V. Khvastunov // Bulletin of PGUAS: construction, science and education. – 2021. – No. 1. – P. 50–56.

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

**Гаврилов Павел Константинович**,  
аспирант  
E-mail: pavel.gavrilov58@yandex.ru

**Гурькова Светлана Юрьевна**,  
магистрант  
E-mail: sweta.gurkova@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

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

**Gavrilov Pavel Konstantinovich**,  
Postgraduate student  
E-mail: pavel.gavrilov58@yandex.ru

**Gurkova Svetlana Yurievna**,  
master's student  
E-mail: sweta.gurkova@yandex.ru

## ОЦЕНКА НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ПРИЗМАТИЧЕСКИХ СВАЙ ПРИ ОБСЛЕДОВАНИИ ФУНДАМЕНТОВ

В.С. Глухов, П.К. Гаврилов, С.Ю. Гурькова

Представлены результаты оценки несущей способности свай, полученные при обследовании конструкций здания. Определение несущей способности свай в составе существующих фундаментов произведено тремя подходами: по расчётной методике СП 24.13330.2021; по данным статического зондирования; по результатам статических испытаний. Отмечается, что статические испытания, выполненные по методике ГОСТ 5686-2020, дают наиболее точную оценку совместной работы сваи и грунтового основания. На основании данных, выявленных в ходе сравнения полученных результатов, сделан вывод о значительном увеличении несущей способности испытуемой сваи с течением времени. Указанное наблюдение объясняется эффектом увеличения доли несущей способности сваи вдоль её боковой поверхности под влиянием процесса фильтрационной консолидации околосвайного грунта.

*Ключевые слова: свайные фундаменты, несущая способность, статические испытания, статическое зондирование, осадка, фильтрационная консолидация*

## ASSESSMENT OF PRISMATIC PILES BEARING CAPACITY DURING FOUNDATIONS SURVEY

V.S. Glukhov, P.K. Gavrilov, S.Yu. Gurkova

This paper presents the results of the assessment of the bearing capacity of piles obtained during the survey of building structures. The determination of the bearing capacity of piles as part of existing foundations was carried out by three approaches: according to the calculation method of SP 24.13330.2021; according to cone penetration test; according to the results of static load tests. It is noted that static tests performed according to the GOST 5686-2020 methodology give the most accurate assessment of the joint work of the pile and the soil base. Based on the data revealed during the comparison of the obtained results, a conclusion was made about a significant increase in the bearing capacity of the tested pile over time. This observation is explained by the effect of increasing the share of the bearing capacity of the pile along its lateral surface under the influence of the process of filtration consolidation of the near-pile soil.

*Keywords: pile foundations, bearing capacity, static load test, cone penetration test, settlement, filtration consolidation*

Использование свайных фундаментов в качестве оснований зданий, возводимых на слабых глинистых грунтах, влечет за собой необходимость в решении довольно сложной инженерной задачи, касающейся определения их несущей способности. Расчёт свайных фундаментов и их оснований должен быть выполнен по предельным состояниям первой и второй группы. Основным по первой группе является расчёт по несущей способности грунта основания свай. Правильная оценка несущей способности помогает определиться с расчётно-допускаемой нагрузкой на сваи, что позволяет значительно повысить надёжность сооружения в ходе эксплуатации [1].

Сроки службы зданий достаточно условны и зависят от многих факторов, среди которых – назначение здания, конструктивная схема и вид эксплуатируемых материалов. С целью диагностики состояния основных конструктивных элементов сооружения, определения возможности дальнейшей безопасной эксплуатации и необходимости проведения восстановительных работ проводят мероприятия по обследованию зданий. Помимо предварительного визуального обследования для наиболее точного определения состояния конструкций проводят инструментальное обследование и поверочные расчёты [2].

Обследование зданий, возведенных на свайных фундаментах, зачастую включает в себя комплекс работ по оценке несущей способности свай. Несущую способность свай можно определить по расчётной методике СП 24.13330.2021, а также с помощью полевых методов – по данным статического зондирования грунтов и статических испытаний свай вдавливающей нагрузкой. Общепринято, что испытания грунтов статической вдавливающей нагрузкой сваями, проводимые согласно ГОСТ 5686-2020, являются наиболее достоверным и универсальным способом оценки их несущей способности. Полевые испытания свай статической нагрузкой позволяют определить уровень осадки здания в зависимости от приложенной нагрузки и времени.

В рамках выполнения комплекса работ по обследованию здания лица №14, расположенного в центральной части г. Пензы, авторами настоящей статьи было выполнено определение несущей способности свай с использованием данных таблиц СП 24.13330.2021 и результатов зондирования. Проверка полученных результатов осуществлялась путём их сопоставления с данными статических испытаний.

Здание лица запроектировано отдельно стоящим трёхэтажным зданием сложной формы в плане с габаритными размерами 82,75 x 63,90 м, общая высота – 12,30 м, высота подвального этажа – 2,6 м. Здание бескаркасное с кирпичными наружными и внутренними несущими стенами (рис. 1). Пространственная жесткость обеспечена за счёт совместной работой кирпичных стен и железобетонных дисков перекрытий с замоноличенными швами и соединенными со стенами анкерами. Участки опирания прогонов и балок перекрытий в наружных и внутренних стенах, внутренние кирпичные столбы выполнены с армированием сварными сетками.

В качестве основания здания принят вариант ленточного свайного основания с использованием призматических железобетонных свай серии 1.011.1-10 сечением 30×30 см. Сваи предусмотрены длиной 10 и 11 м.

Здание лица расположено по ул. Шевченко / ул. Новый Кавказ в г. Пензе. В геоморфологическом отношении исследуемый участок расположен в пределах I левобережной надпойменной террасы р. Суры. Естественный рельеф нарушен и спланирован насыпным грунтом. Поверхность площадки ровная, с небольшим уклоном на юго-восток. Абсолютные отметки поверхности по устьям скважин в пределах участка составили от 150,11 до 151,63 м.

В геологическом строении площадки под строительство до глубины 17,0 метров принимают участие современные и верхнечетвертичные аллювиальные отложения ( $aQ_{III-N}$ ), развитые в пределах первой левобережной надпойменной террасы р. Суры, представленные глинами мягкопластичными (ИГЭ-2 и ИГЭ-3). Подстилают указанные слои элювиальные отложения, развитые по породам маастрихтского яруса верхнего мела ( $eK_Z(K_{2m})$ ), представленные глинами полутвердыми. С поверхности все отложения перекрыты насыпным слоем, представленным механической смесью почвы, глины со строительным мусором ( $tQH$ ), мощностью до 2,3 м. По относительной

деформации морозного пучения при промерзании глины мягкопластичные ИГЭ-2 – чрезмерно пучинистые.



Рис. 1. Главный фасад обследуемого здания

В качестве несущего слоя основания свайных фундаментов служит глина тяжелая полутвердая (ИГЭ-4). Физико-механические свойства грунтов основания представлены в табл. 1, инженерно-геологический разрез с привязкой фундаментов изображен на рис. 2.

Т а б л и ц а 1

ИГЭ	Плотность грунта, г/см <sup>3</sup>			Удельное сцепление, МПа			Угол внутр. трения, °			Модуль деформации, МПа
	Нормативное значение	Расчётное значение		Нормативное значение	Расчётное значение		Нормативное значение	Расчётное значение		
		0,85	0,95		0,85	0,95		0,85	0,95	
ИГЭ-2 (аQШ-Н) глина МП	1,85	1,82	1,81	0,019	0,017	0,015	14	14	13	6,0
ИГЭ-3 (аQШ-Н) глина МП	1,68	1,66	1,65	0,013	0,012	0,012	12	12	11	4,5
ИГЭ-4 (eKZ (K2m)) глина ПТ	1,74	1,72	1,71	0,045	0,043	0,041	19	18	18	26,0

Целью расчёта оснований по несущей способности является обеспечение прочности и устойчивости основания, а также предотвращение сдвига и опрокидывания фундамента. В соответствии с расчётами, выполненными на стадии проектирования по расчётной методике СП 22.13330.2021, несущая способность сваи марки С100.30-10 составила  $F_{d10} = 820,0$  кН, а для сваи С110.30-11  $F_{d11} = 900,0$  кН. Эти результаты были сопоставлены с данными, полученными по результатам статического зондирования.

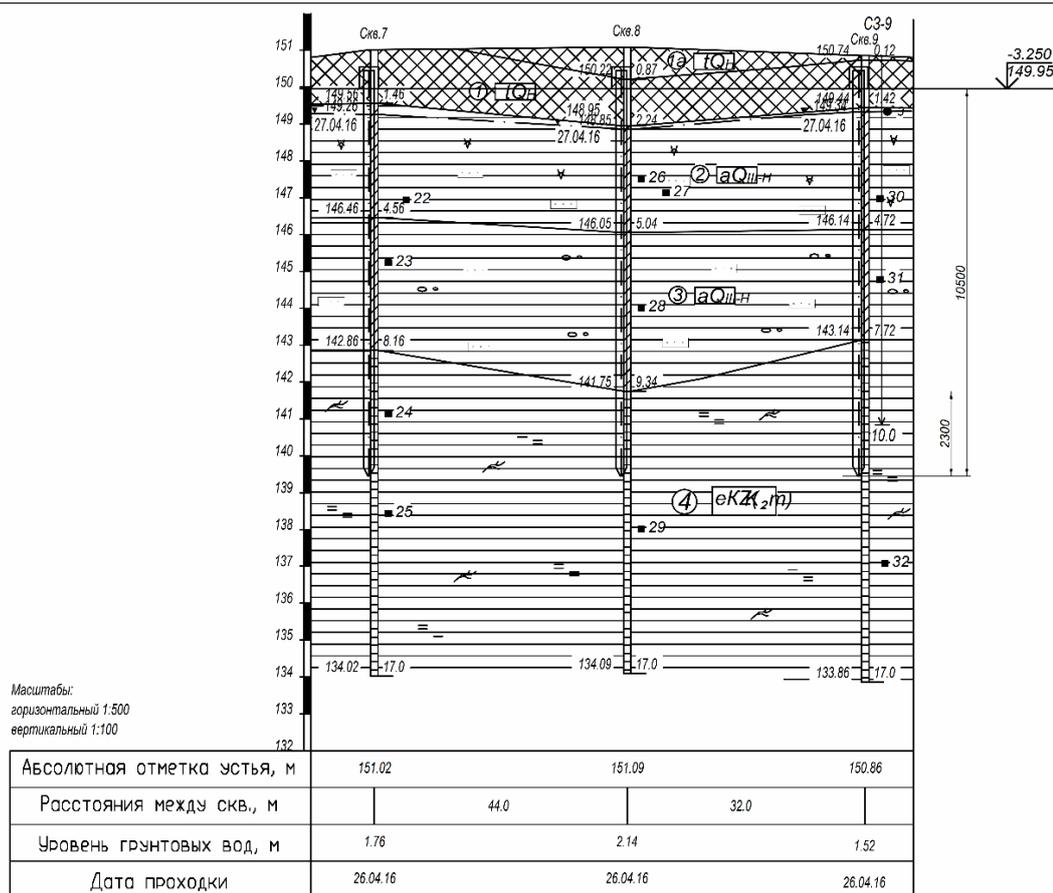


Рис. 2. Инженерно-геологические условия площадки с привязкой фундаментов

Статическое зондирование грунтов, выполняемое по ГОСТ 19912-2012, в настоящее время является наиболее доступным и эффективным методом определения несущей способности свай. При статическом зондировании испытание грунта осуществляется в природном сложении, что является неоспоримым преимуществом метода, как и относительная простота, высокая производительность и незначительная стоимость. По данным статического зондирования несущая способность сваи С100.30-10 равна 650,0 кН, для сваи С110.30-11 – 720,0 кН, что в 1,25 раз меньше величин, полученных расчётным методом (рис. 3). На практике такое расхождение между расчётными и опытными результатами свидетельствует о весьма низкой достоверности расчётного метода определения несущей способности рассматриваемых свай [5].

В рамках комплексного обследования здания лицея принято решение о необходимости исследования состояния фундаментов и выявления их действительной несущей способности. Определение несущей способности забивных свай, находившихся под нагрузкой в течение длительного времени в составе ленточного свайного фундамента, осуществлялось путём проведения натуральных статических испытаний вдавливающей нагрузкой [3]. Для этого был выполнен срез и демонтаж головы сваи с последующей установкой грузового домкрата ДГ200П150 между подготовленной площадкой и ростверком (рис. 4). Контроль за усилием в домкрате осуществлялся при помощи тарированного манометра, подключенного к насосной станции. Наблюдение за перемещением сваи от приложенной нагрузки выполнялось при помощи прогибомеров ПМ с ценой деления 0,1 мм. Программа испытаний опытных свай и обработка полученных результатов производилась в соответствии с требованиями ГОСТ 5686-2020.

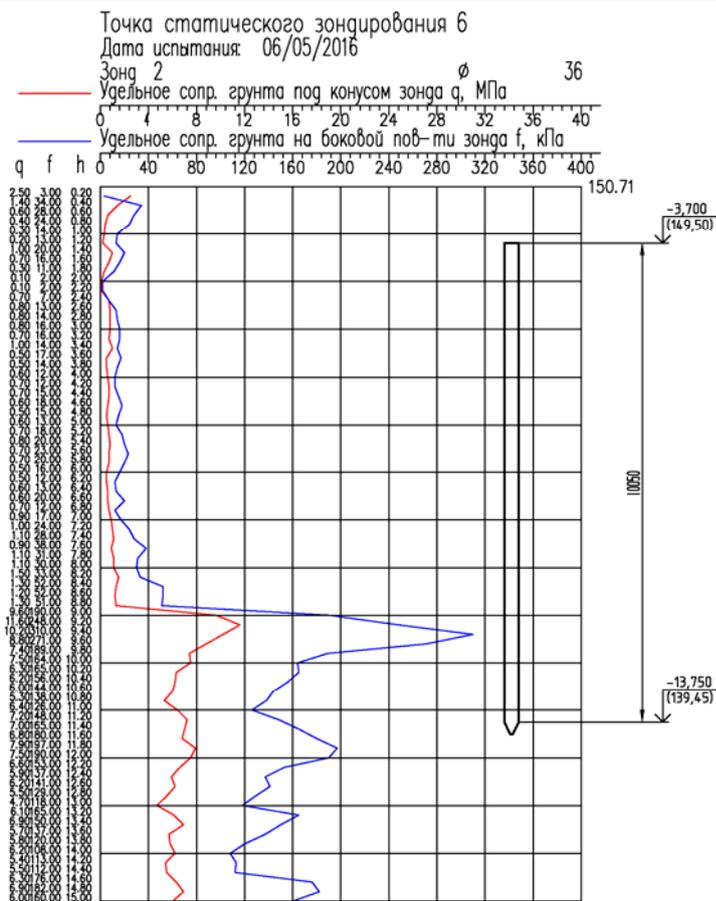


Рис. 3. Определение несущей способности сваи по данным статического зондирования



Рис. 4. Проведение статических испытаний опытной сваи.  
 Установка грузового домкрата и реперной системы

Результаты испытаний сведены в таблицы отсчетов за перемещениями испытуемых свай относительно двух неподвижных реперов, по данным которых построены графики зависимости осадки сваи  $S$  (мм) от нагрузки  $F$  (кН) (рис. 5, 6).

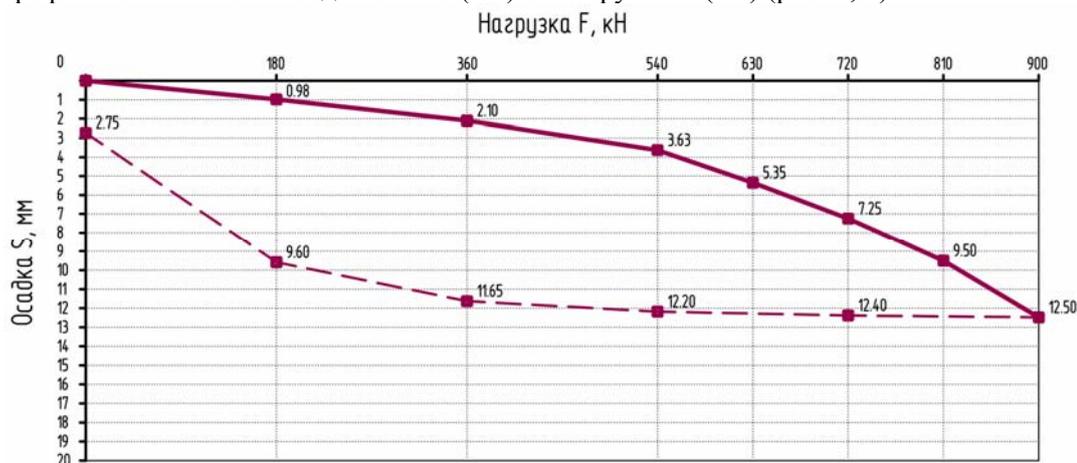


Рис. 5. График зависимости осадки сваи  $S$  (мм) от нагрузки  $F$  (кН) C100.30-10



Рис. 6. График зависимости осадки сваи  $S$  (мм) от нагрузки  $F$  (кН) C110.30-11

Согласно п. 7.3.5 СП 24.13330.2021 за нормативное значение несущей способности сваи или сваи-оболочки следует принимать нагрузку, под воздействием которой испытываемая свая или свая-оболочка получит осадку  $S$ , равную

$$S = \zeta \cdot S_{u,mt}, \quad (1)$$

где  $S_{u,mt}$  – предельное значение средней осадки фундамента проектируемого здания или сооружения, устанавливаемое согласно приложению Г СП 22.13330.2016 ( $S_{u,mt} = 120,0$  мм);  $\zeta$  – коэффициент перехода от предельного значения средней осадки фундамента здания или сооружения  $S_{u,mt}$  к осадке сваи, полученной при статических испытаниях с условной стабилизацией (затуханием) осадки, равный  $\zeta = 0,2$ .

Результаты испытаний сваи C100.30-10 статической вдавливающей нагрузкой, приведенные на рис. 5, показывают, что при нагрузке  $F = 900,0$  кН общее перемещение сваи равно  $S_1 = 12,5$  мм. Это значительно меньше нормативной величины перемещения сваи  $S = 24,0$  мм. Аналогичные выводы можно сделать и по результатам испытаний C110.30-11, где при максимальной нагрузке в ходе испытаний была достигнута конечная осадка  $S_2 = 13,9$  мм (рис. 6).

Нагружение свай в процессе испытаний было завершено при достижении нагрузки  $N_{\max} = 900,0$  кН, не превышающей несущей способности ствола сваи по материалу.

Однако можно заметить, что полное сопротивление грунтового основания в процессе статического испытания не было достигнуто. По характеру кривых, изображенных на графиках (см. рис. 6), можно заметить, что имеются значительные запасы несущей способности по грунту и прочность основания не была исчерпана. Сводная таблица результатов определения несущей способности свай по вышеописанным методикам представлена в табл. 2.

Т а б л и ц а 2

Используемый метод	$F_d$ , кН	
	С100.30-10	С110.30-11
Расчётный метод (СП 24.13330.2021)	820,0	900,0
Статическое зондирование (ГОСТ 19912-2012)	650,0	720,0
Статические испытания (ГОСТ 5686-2020)	900,0*	900,0*

П р и м е ч а н и е . Испытание было остановлено согласно программе. Момент срыва свай в ходе испытаний не был достигнут.

Выявленное увеличение несущей способности объясняется эффектом рассеивания порового давления, возникающего в основании при погружении свай, и тиксотропным упрочнением грунта, протекающим в течение периода времени после забивки свай. Сваи, устроенные в водонасыщенных глинистых грунтах, с течением времени достигают максимальной несущей способности по боковой поверхности после окончания процесса фильтрационной консолидации и тиксотропного упрочнения. Многочисленные лабораторные и полевые исследования, изложенные в работах [4, 6], показали, что по мере консолидации и тиксотропного упрочнения глинистых грунтов происходит увеличение несущей способности свай во времени. Общепринято, что в течение 6–7 суток после погружения свай происходит увеличение несущей способности вследствие завершения процесса фильтрационной консолидации.

Таким образом, можно сделать вывод, что на данный момент в традиционных подходах к оценке несущей способности свай на стадии проектирования не учитываются в полной мере реологические особенности грунтовых условий ввиду большого количества параметров, влияющих на их свойства. Указанное приводит к недооценке несущей способности свай при проектировании только на основе расчётного метода определения несущей способности. Как следствие, это ведет к перерасходу материальных средств на устройство фундаментов. Авторами предлагается учитывать эффект повышения несущей способности свай вследствие процесса фильтрационной консолидации грунтов посредством проведения статических испытаний опытных свай на площадках строительства с водонасыщенными пылевато-глинистыми грунтами. Выполнение исследований несущей способности свай по истечению срока их «отдыха» до начала массовой забивки свайных полей позволит получить более точные значения их несущей способности с дальнейшей оптимизацией проектных решений фундаментов.

### Список литературы

1. Корнюшин, П.С. Натурные испытания свай статической нагрузкой / П.С. Корнюшин, К.А. Мазур // Развитие современной науки: теоретические и прикладные аспекты. – 2017. – С. 9–15.
2. Гарькин, И.Н. Обследование строительных конструкций объектов по хранению и переработке растительного сырья / И.Н. Гарькин // Вестник ПГУАС: Строительство, наука и образование. – 2017. – № 2(5). – С. 23–27.
3. Саенко, Ю.В. Оценка несущей способности забивных свай в фундаментах существующих зданий / Ю.В. Саенко // Вестник гражданских инженеров. – 2018. – № 2(67). – С. 106–111.
4. Бартоломей, А.А. Прогноз осадок свайных фундаментов / А.А. Бартоломей, И.М. Омельчак, Б.С. Юшков. – М.: Стройиздат, 1994. – 384 с.

---

5. Глухов, В.С. Оценка несущей способности свай в пробитых скважинах с уширением по результатам полевых испытаний и поверочных расчётов / В.С. Глухов, П.К. Гаврилов // Актуальные проблемы современного фундаментостроения с учетом энергосберегающих технологий: сб. материалов XI Всероссийской научно-практической конференции. – Пенза, 2020. – С. 44–51.

6. Глухов, В.С. Рекомендации по определению несущей способности свай при погружении вдавливанием / В.С. Глухов, Ю.С. Вишнякова // Региональная архитектура и строительство – 2019. – № 3 (40). – С. 107–112.

### References

1. Korniyushin, P.S. Full-scale tests of piles with static load / P.S. Korniyushin, K.A. Mazur // Development of modern science: theoretical and applied aspects. – 2017. – P. 9–15.

2. Garkin, I.N. Survey of buildings structures of objects for raw materials storage and processing / I.N. Garkin // Bulletin of PGUAS: construction, science and education. – 2017. – № 2 (5). – P. 23–27.

3. Saenko, Yu.V. Evaluation of driven pile bearing capacity in the foundation of existing buildings / Yu.V. Saenko // Bulletin of civil engineers. – 2018. – № 2(67). – P. 106–111.

4. Bartolomey, A.A. Forecast of Pile Foundation Settlement / A.A. Bartolomey, I.M. Omelchak, B.S. Yushkov. – M.: Stroyizdat Publ, 1994. – 380 p.

5. Glukhov, V.S. Assessment of the bearing capacity of piles in drilled wells with broadening based on the results of field tests and verification calculations / V.S. Glukhov, P.K. Gavrilov // Sbornik materialov XI Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferentsii. – Penza, 2020. – P. 44–51.

6. Glukhov, V.S. Recommendations on the determination of the carrying ability of piles diving under pressure / V.S. Glukhov, Y.S. Vishnyakova // Regional architecture and engineering. – 2019. – № 3(40). – P. 107–112.

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

*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 of «Geotechnics and Road  
Construction»  
E-mail: gds@pguas.ru

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

## ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ СВАЙНО-ПЛИТНОГО ФУНДАМЕНТА ВЫСОТНОГО ЗДАНИЯ

В.С. Глухов, Д.А. Рябов

При проектировании фундаментов 35-этажного жилого дома рассмотрены варианты в виде сплошной монолитной плиты, комбинированного свайно-плитного фундамента и свайного поля из призматических свай вдавливания. Выполнены расчеты по несущей способности и деформациям основания. Выбор оптимального варианта производился на основании технико-экономического сравнения.

Расчетные значения осадки фундамента в виде сплошной монолитной плиты превышают предельно-допустимые по нормам. При расчете свайно-плитного фундамента решалась задача о доле передачи нагрузки на сваи и плиту. Сметная стоимость поля из призматических свай, объединенных монолитным ростверком, значительно превышает вариант свайно-плитного фундамента.

*Ключевые слова: свайный фундамент, сваи вдавливания, свайно-плитный фундамент, комбинированный фундамент*

## JUSTIFICATION OF THE USE OF PILE-SLAB FOUNDATION OF A HIGH-RISE BUILDING

V.S. Glukhov, D.A. Ryabov

Designing the foundations of a 35-storey residential building, options in the form of a solid monolithic slab, a combined pile-slab foundation and a pile field of prismatic indentation piles are considered. Calculations of the bearing capacity and deformations of the base are performed. The choice of the optimal option was made on the basis of a technical and economic comparison.

The calculated values of the slab foundation settlement exceed the maximum permissible standards. Calculating the pile-slab foundation, the problem of proportion of load transfer to the piles and the slab was solved. The estimated cost of a field of prismatic piles exceeds the option of a pile-slab foundation.

*Keywords: pile foundation, indentation piles, pile-slab foundation, combined foundation*

В рамках проведенных исследований решена задача по выбору рационального варианта фундаментов 35-этажного жилого дома в г. Рязани. Здание призматическое выполнено в виде прямоугольных форм в плане с плоской кровлей (рис. 1).

Высота здания 113,8 м, размеры в плане 27,0 × 42,0 м. Конструктивная схема представляет собой симметричную конструкцию несущих пилонов и перекрытий с ядром жесткости из лестнично-лифтовых узлов. Проектируемое высотное здание относится к повышенному уровню ответственности.

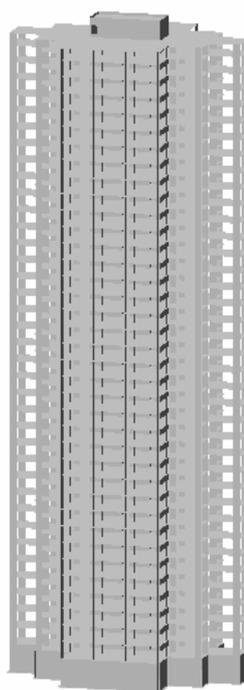


Рис. 1. Схема несущих конструкций жилого дома

Расчетная вертикальная нагрузка на фундамент с учетом подземного техподполья рассчитана в программном комплексе ПК ЛИРА-САПР и составляет  $N_1 = 480\,000$  кН.

Площадка строительства сложена пылевато-глинистыми грунтами. Физико-механические характеристики слоев грунта приведены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

Физико-механические характеристики

ИГЭ	Наименование грунта	Мощность слоя	Удельный вес	Показатель пластичности	Показатель текучести	Угол внутреннего трения	Удельное сцепление	Модуль деформации
		$h$	$\gamma$	$I_p$	$I_L$	$\varphi$	$c$	$E$
		м	кН/м <sup>3</sup>	%	д. ед.	град	кПа	МПа
ИГЭ-1	Почвенно-растительный	1,0	15	-	-	-	-	-
ИГЭ-2	Глина	7,0	18,2	18	0,58	10	7	9,0
ИГЭ-3	Суглинок	5,0	19,0	16	0,24	16	15	15,0
ИГЭ-4	Супесь	50,0	19,2	7	0,37	18	4	15,0

Авторами рассмотрены варианты фундаментов:

- в виде сплошной монолитной плиты;
- комбинированный свайно-плитный (КСП) фундамент из призматических свай, погруженных по технологии вдавливания;
- в виде свайного поля из призматических свай, погруженных по технологии вдавливания, с монолитным ростверком.

При расчете монолитной плиты глубина заложения принята 9,2 м. Указанная отметка совпадает с верхним слоем суглинка, модуль деформации которого выше, чем у надстилающего слоя глины. При такой конструктивной схеме осадка составила  $S = 30,0$  см, что превышает допустимое значение  $S_u = 18,0$  см по СП 22.13330.2016

«Основания зданий и сооружений», а сжимаемая толща грунта составляет 18,0 м. Таким образом, монолитная плита не может быть рассмотрена в качестве фундамента данного здания.

Вариант свайного фундамента, объединенного монолитным ростверком, состоит из призматических свай С13-30 квадратного сечения  $300 \times 300$  мм длиной 13,0 м, погруженных по технологии вдавливания. Минимальное расстояние между осями свай  $a = 1,0$  м принято в пределах  $3d \leq a \leq 6d$ , где  $d$  – сторона сваи (рис. 2).

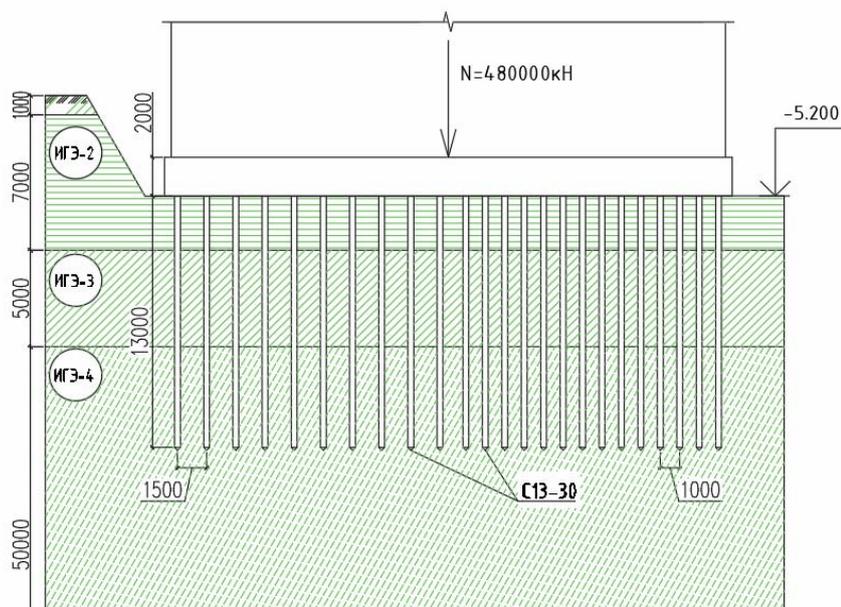


Рис. 2. Привязка вариантов свай к инженерно-геологическому разрезу

При переходе к проектированию свайно-плитного фундамента вышеуказанные сваи С13-30 необходимо расположить в плане с расстоянием не менее  $5d$ , принято  $a = 1,5$  м. Расчет свайно-плитного фундамента сводится к определению несущей способности свай и деформации основания под плитой. Особенность варианта заключается в совместном восприятии нагрузки от здания и передачи последней на грунты [1]. Актуальной проблемой при проектировании указанных фундаментов является методика распределения нагрузки [2]. По результатам анализа инженерно-геологических условий площадки и предварительных расчетов осадки на плиту приняты 45 % общего веса здания, на сваи – 55 %.

По рекомендациям СП 24.13330.2021 «Свайные фундаментов» при проектировании КСП фундаментов минимальное расстояние между осями свай должно быть не менее пяти диаметров свай. Считается, что в этом случае сваи не оказывают взаимного влияния друг на друга (рис. 3) [3].

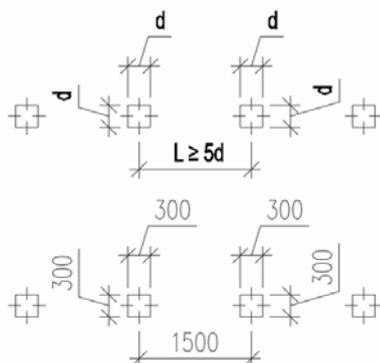


Рис. 3. Взаимное расположение свай в свайно-плитном фундаменте

Несущая способность сваи вдавливания определена по формуле (7.9) СП 24.13330.2021:

$$F_d = \gamma_c \left( \gamma_{RR} RA + u \sum \gamma_{Rf} f_i h_i \right), \quad (1)$$

где  $\gamma_c$ ,  $\gamma_{RR}$ ,  $\gamma_{Rf}$  – коэффициенты условий работы сваи в грунте;  $R$ ,  $f_i$  – расчетные сопротивления грунта под нижним концом сваи и вдоль боковой поверхности, зависящие от показателя текучести  $I_L$  глинистого грунта или крупности песка, кПа;  $A$  – площадь опирания сваи на грунт, м<sup>2</sup>;  $u$  – наружный периметр поперечного сечения сваи, м;  $h_i$  – толщина  $i$ -го слоя грунта, соприкасающегося с боковой поверхностью сваи, м.

Несущая способность сваи составляет  $F_d = 1010$  кН, допускаемая нагрузка на сваю определяется понижением значения несущей способности при расчете в 1,4 раза  $N_{рд} = 660$  кН. В проекте принято 400 свай, на которые приходится 55 % от общей нагрузки  $N_1 = 264\,000$  кН.

Фундаментная плита запроектирована толщиной  $h_{пл} = 2,0$  м, площадью  $A_{пл} = 880,0$  м<sup>2</sup>.

Расчет по деформациям в случае КСП фундаментов сводится к расчету осадки фундаментной плиты при учете, что сжимаемая толща грунта под последней не выходит за пределы длины свай [4]. Предполагается, что осадка одиночной сваи будет меньше осадки плиты.

Расчет осадки выполняется по схеме линейно-деформируемого полупространства, если давление под подошвой фундаментной плиты  $P$  не превышает расчетного сопротивления грунта основания  $R$ , определяемого по формуле (5.7) СП 22.13330.2016:

$$R = \frac{\gamma_{c1} \gamma_{c2}}{k} \left( M_\gamma \gamma_{II} k_z b + M_q \gamma'_{II} d_1 + M_c c_{II} \right), \quad (2)$$

где  $\gamma_{c1}$ ,  $\gamma_{c2}$  – коэффициенты, зависящие от вида грунта;  $k$  – коэффициент, зависящий от метода определения прочностных характеристик грунта;  $M_\gamma$ ,  $M_q$ ,  $M_c$  – коэффициенты, принимаемые в зависимости от угла внутреннего трения  $\phi$  грунта;  $k_z$  – коэффициент, принимаемый для плитного фундамента равным  $k_z = 8/b + 0,2$ ;  $b$  – ширина подошвы фундамента, м;  $\gamma_{II}$ ,  $\gamma'_{II}$  – удельный вес грунта, залегающего ниже и выше подошвы фундамента, кН/м<sup>3</sup>;  $c_{II}$  – удельное сцепление грунта, кПа;  $d_1$  – глубина заложения подошвы фундамента,  $d_1 = 5,2$  м.

Расчетное сопротивление грунта в уровне подошвы плиты составляет  $R = 288$  кПа. Давление под подошвой плиты определяется с учетом 45 % расчетной нагрузки с учетом коэффициента перегрузки, равного единице,  $N_{II} = 480\,000/1,15 = 417\,000$  кН:

$$P = \frac{0,45 N_{II}}{A} = 215 \text{ кПа}. \quad (3)$$

Условие расчета фундамента по схеме линейно деформируемого полупространства выполняется:  $P = 215 \text{ кПа} < R = 288 \text{ кПа}$ .

Осадка фундаментной плиты, определенная методом послойного суммирования, составила  $S = 7,0$  см, что значительно меньше предельно допустимого значения  $S_u = 18,0$  см. Сжимаемая толща грунта  $H_c = 9,0$  м, граница располагается выше нижнего конца сваи (рис. 4).

Расчет варианта свайного поля заключается в равномерном распределении нагрузки от здания на сваи через монолитный ростверк, размеры которого соответствуют размерам плиты в КСП фундаменте.

Свайное поле принято из аналогичных предыдущему варианту свай С13-30 в количестве 800 шт. При восприятии 100 % нагрузки от здания на одну сваю приходится  $N = 480\,000/800 = 600$  кН, что меньше расчетно-допускаемой нагрузки  $N_{рд} = 660$  кН. Имеется запас по несущей способности.

Расчет свайного поля по деформациям сводится к вычислению осадки условного фундамента в виде сплошного массива. Величина осадки составила  $S = 9,0 \text{ см} < S_u = 18,0 \text{ см}$ .

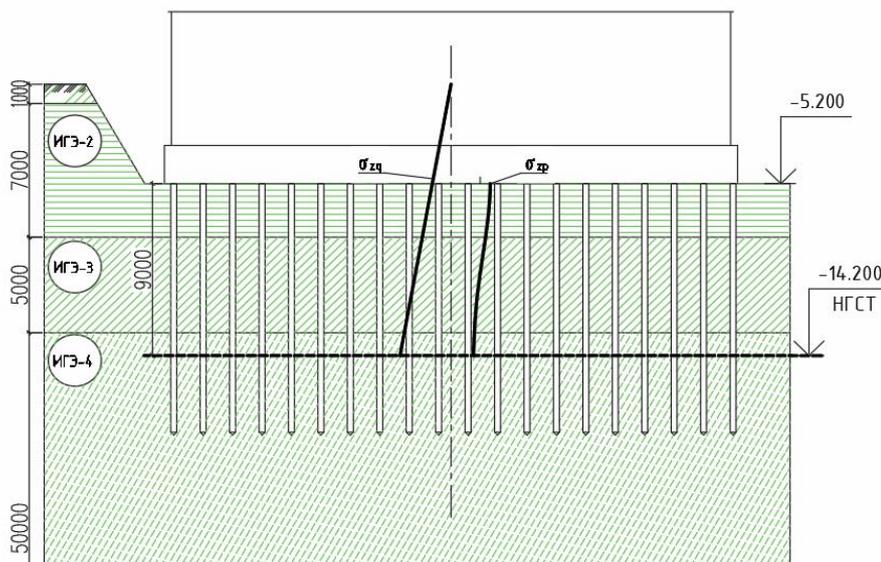


Рис. 4. Схема распределения напряжений в грунтовой толще

Выбор оптимального варианта для данного здания в сочетании с инженерно-геологическими условиями производился на основе технико-экономического сравнения устройства свай. В обоих случаях приняты одинаковые сваи С13-30 объемом одной сваи  $V = 1,2 \text{ м}^3$ . Основываясь на ценах из открытых источников по г. Рязани, стоимость устройства свай технологией вдавливания с учетом материала составляет порядка 20,3 тыс. руб. Сравнение сметной стоимости устройства свай приведено в табл. 3.

Т а б л и ц а 3

Технико-экономическое сравнение вариантов фундаментов

Тип фундамента	Цена одной сваи, тыс. руб.	Кол-во свай, шт.	Итого, тыс.руб
Комбинированный свайно-плитный (КСП) фундамент	20,3	400	8 120,0
Фундаменты из свай, объединенных монолитным ростверком		800	16 240,0

При проектировании двух вариантов фундаментов с использованием одинаковых по размеру свай разница в количестве свай и цене составила 2 раза. Экономический эффект достигает 8,0 млн руб., что свидетельствует о рациональности применения свайно-плитного фундамента.

Задача распределения нагрузки между сваями и плитой решалась путем выполнения требований по расчету осадки: граница сжимаемой толщи под плитой не должна быть ниже острия свай, величина осадки не должна превышать осадки свайного фундамента, полученной по схеме условного фундамента.

### Список литературы

7. Калугин, П.И. О расчете комбинированных свайно-плитных фундаментов по деформациям основания / П.И. Калугин // Научный вестник Воронежского государственного архит.-строит. университета. – 2012. – № 1. – С. 90–93.

---

8. Чунюк, Д.Ю. Возможные методы расчета комбинированных свайно-плитных фундаментов / Д.Ю. Чунюк, Н.О. Курилин // Научное обозрение. – 2016. – № 18. – С. 11–17.

9. Глухов, В.С. Расчёт осадки комбинированных фундаментов с учётом нелинейных деформаций грунтового основания / В.С. Глухов, П.К. Гаврилов // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2019. – № 4(11). – С. 15–24.

10. 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.

### References

1. Kalugin, P.I. On the calculation of combined pile-slab foundations by base deformations / P.I. Kalugin // Scientific Bulletin of the Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering. – 2012. – № 1. – P. 90–93.

2. Chunyaev, D.Yu. Possible methods of calculation of combined pile-slab foundations / D.Yu. Chunyaev, N.O. Kurilin // Scientific review. – 2016. – No. 18. – P. 11–17.

3. Glukhov, V.S. Calculation of precipitation of combined foundations taking into account nonlinear deformations of the soil base / V.S. Glukhov, P.K. Gavrilov // Housing and communal infrastructure. – 2019. – № 4(11). – P. 15–24.

4. 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.

Пензенский государственный университет  
архитектуры и строительства

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

**Грачева Юлия Вячеславовна**,  
кандидат технических наук, доцент кафедры  
«Геотехника и дорожное строительство»  
E-mail: gracheva\_jv@mail.ru

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

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

**Веселов Павел Игоревич**,  
магистрант  
E-mail: gds@pguas.ru

**Моршанкин Владислав Алексеевич**,  
студент  
E-mail: gds@pguas.ru

*Penza State University of Architecture  
and Construction*

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

**Gracheva YuliaVyacheslavovna**,  
Candidate of Sciences, Associate Professor of the  
Department «Geotechnics and road construction»  
E-mail: gracheva\_jv@mail.ru

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

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

**VeselovPavellgorevich**,  
Undergraduate  
E-mail: gds@pguas.ru

**MorshankinVladislav Alekseevich**,  
Student  
E-mail: gds@pguas.ru

## ИСПЫТАНИЯ МЕСТНЫХ ПРИРОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ПРЕДМЕТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В КАЧЕСТВЕ ГРУНТОВОГО ОСНОВАНИЯ ДЛЯ ОБЪЕКТОВ СТРОИТЕЛЬСТВА

Ю.В. Грачева, Н.И. Тарасеева, А.С. Крылов, П.И. Веселов, В.А. Моршанкин

Проводились научные исследования образца песка карьера Пензенской области в одометре с проверкой полученных результатов по испытаниям одноплоскостного среза на предмет использования местных природных материалов в строительной отрасли, в частности для устройства оснований под фундаменты мелкого заложения.

*Ключевые слова: грунт, одометр, одноплоскостной срез, вертикальные деформации, вертикальные напряжения грунта, фундамент, осадка*

## TESTING LOCAL NATURAL MATERIALS FOR THE USE AS A SUBGRADE FOR CONSTRUCTION PROJECTS

Yu.V. Gracheva, N.I. Taraseeva, A.S. Krylov, P.I. Veselov, V.A. Morshankin

The purpose of the research is to test a sample of sand from a quarry in the Penza region in an odometer with verification of the results obtained from testing a single-plane cut for the use of local natural materials in the construction industry, in particular, for laying shallow foundations

*Keywords: soil, odometer, one-plane cut, vertical deformations, vertical soil stresses, foundation, settlement*

Способы и условия образования горных пород оказывают значительное влияние на основные характеристики осадочных пород и определяют возможность прогноза опасных инженерно-геологических процессов на строительных площадках. Физико-механические свойства грунтов являются результатом сложного и длительного

воздействия тектонических процессов земной коры, физико-химических условий образования пород, условий залегания последних, региональных геологических процессов, связанных с действием воды, газов, колебаний температуры, биологических факторов. К примеру, на увеличение скорости осадки пород под давлением оказывает влияние чередование пластов глины с тонкими слоями песка по сравнению с однородным пластом глинистых грунтов.

Целью исследований являлось проведение испытания образца песка в одометре с проверкой полученных результатов по испытаниям одноплоскостного среза на предмет использования местных природных материалов в строительной отрасли, в частности для устройства оснований под фундаменты мелкого заложения.

На первом этапе песчаный грунт испытывали методом компрессионного сжатия в одометре конструкции НПП «Геотек». В качестве испытываемого образца использовали песок местного карьера. В результате формирования образца грунта методом отсыпки с постоянной высоты получили образец с пористостью, соответствующей рыхлому песку.

Одной из основных и главных деформационных характеристик грунта является модуль деформации – отношение напряжения, созданного в образце, к деформации (осадке) этого образца. Полученный таким способом показатель деформативности называют штамповым и используют не только в формулах при расчёте осадки фундамента, но и при определении изменений грунта под действием нагрузок разных типов.

Менее затратным способом для установления искомой характеристики является компрессионное сжатие. Сущность метода основана на моделировании напряженного состояния грунта в приборе, где будут ограничены перемещения по двум взаимно перпендикулярным осям, а с противоположных сторон третьей оси будет прикладываться заданное давление.

Испытания образцов песчаного грунта осуществляли в соответствии с ГОСТ [2] в компрессионном одометре при условии возможности бокового расширения образца при его нагружении вертикальной нагрузкой. Компрессионный одометр представляет собой металлическую камеру, моделирующую вышеописанное состояние. В этой камере предусмотрен также механизм водонасыщения грунта, позволяющий определить, какую нагрузку выдержит водонасыщенный грунт по сравнению с влажностью песка в природном состоянии, поскольку в процессе эксплуатации возможно влияние природного или техногенного подтопления основания участка застройки. На данном этапе эксперимента к верхней подвижной части одометра прикладывается нагрузка, которая создается специальной установкой [1].

Выбор последовательности нагружения в компрессионном приборе зависит не только от вида испытываемой горной породы, но и от типа проектируемых надземных зданий или сооружений [4-6], которые вызывают тот или иной вид напряженного состояния в массиве грунта основания. Количество ступеней нагружения и их значения должны быть больше эффективных напряжений, используемых при расчете осадки фундаментов, т.е. максимальное значение нормального давления на образец грунта должно быть выше давления под подошвой проектируемого фундамента.

Фундамент воспринимает нагрузки от вышерасположенных частей здания и передаёт их основанию, что вызывает явление деформации грунта, называемое сжимаемостью. При проведении испытания нагрузку прикладывали ступенями, моделируя реальный процесс поэтапного нагружения на стадии строительства, когда нагрузка возрастает этаж за этажом с измерением вертикальных и относительных деформаций: 50-100-200-400 кПа и 50-100-200-400-800 кПа. В результате получаем график зависимости перемещения верхней части одометра от каждой ступени нагрузки. Данное перемещение моделирует деформацию грунта, а поделив заданную нагрузку на осадку, устанавливаем и определяем искомый модуль деформации.

Обработка экспериментальных данных позволила графически отобразить зависимость вертикальных деформаций от вертикальных напряжений (рис. 1) и построить компрессионную кривую, в том числе в логарифмическом виде (рис. 2).



Рис. 1. Зависимость между вертикальным напряжением ( $\delta$ ) и вертикальной деформацией ( $\epsilon$ )

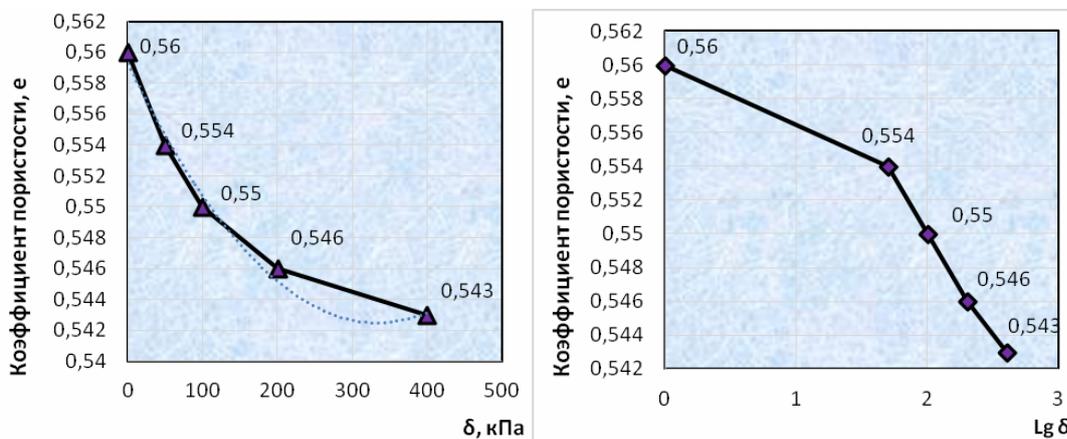


Рис. 2. Компрессионная кривая

Построение графических зависимостей (см. рис. 2) позволило определить коэффициент сжимаемости грунта  $m_0$ , компрессионный модуль деформации  $E_k$ , одометрический модуль деформации  $E_{ord}$  для каждой ступени давления:

$$m_0 = \frac{e_i - e_{i+1}}{\delta_{i+1} - \delta_i},$$

где  $e_i$  и  $e_{i+1}$  – коэффициенты пористости при  $\rho_i$  и  $\rho_{i+1}$ ;

$$E_k = \frac{1 + e_0}{m_0} \beta,$$

где  $\beta$  – коэффициент, характеризующий поперечное расширение грунта,  $\beta=0,8$ ;

$$E_{ord} = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\epsilon},$$

где  $\Delta\epsilon$  – изменение относительного сжатия.

Из следующей зависимости определяем переходный коэффициент  $\beta$ :

$$E_k = \beta \cdot E_{ord}. \quad (4)$$

Для ступени 0-50 кПа получены значения:  $m_0 = 0,12 \text{ МПа}^{-1}$ ,  $E_k = 10,4 \text{ МПа}$ ,  $E_{ord} = 15,6 \text{ МПа}$ ,  $\beta_1 = 0,67$ .

Для ступени 50-100 кПа:  $m_0 = 0,08 \text{ МПа}^{-1}$ ,  $E_k = 15,6 \text{ МПа}$ ,  $E_{ord} = 26,3 \text{ МПа}$ ,  $\beta_2 = 0,59$ .

Для ступени 100-200 кПа:  $m_0 = 0,04 \text{ МПа}^{-1}$ ,  $E_k = 31,2 \text{ МПа}$ ,  $E_{ord} = 58,8 \text{ МПа}$ ,  $\beta_3 = 0,53$ .

Для ступени 200-400 кПа:  $m_0 = 0,015 \text{ МПа}^{-1}$ ,  $E_k = 83,2 \text{ МПа}$ ,  $E_{ord} = 100 \text{ МПа}$ ,  $\beta_4 = 0,832$ .

На втором этапе испытания пробы песка проводили на приборе одноплоскостного среза со статическим нагружением конструкции НПП «Геотек» (рис. 3).



Рис. 3. Прибор одноплоскостного среза со статическим нагружением конструкции НПП «Геотек» ([www.geotek.ru](http://www.geotek.ru))

Формирование образца производили в приборе следующим способом: грунт засыпали до полного заполнения камеры, поверх укладывали металлический штамп и наносили 20 легких ударов вручную, затем грунт досыпался, и процедура повторялась. Схема испытаний приведена в таблице в соответствии с [2].

Схема испытаний

№	Прибор	Описание грунта	Схема испытания	Стандарт
1	Прибор одноплоскостного среза	Песок ( $e=0,58$ ) природной влажности	Вертикальное нагружение 100 кПа, срез с постоянной скоростью	ГОСТ-12248 (п. 5.1)
2			Вертикальное нагружение 200 кПа, срез с постоянной скоростью	ГОСТ-12248 (п. 5.1)
3			Вертикальное нагружение 300 кПа, срез с постоянной скоростью	ГОСТ-12248 (п. 5.1)
4			Вертикальное нагружение 400 кПа, срез с постоянной скоростью	ГОСТ-12248 (п. 5.1)

На основании полученных данных установлена зависимость боковых напряжений от вертикальных (рис. 4).

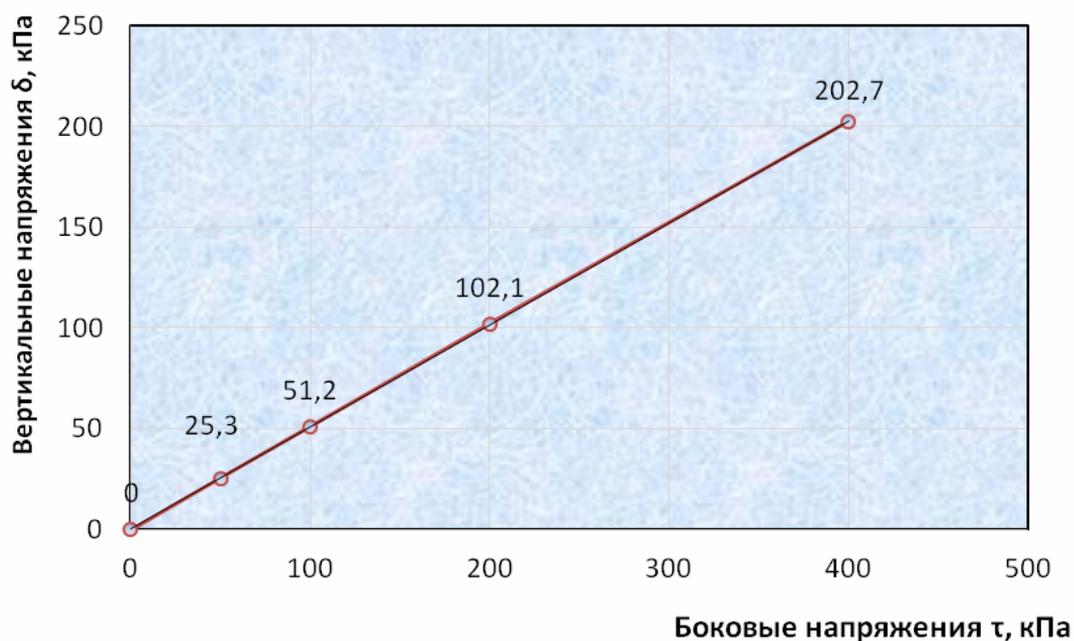


Рис. 4. Зависимость боковых напряжений от вертикальных

При схеме испытания 50-100-200-400 кПа для исследуемого песка получены следующие прочностные характеристики:  $\varphi = 37^\circ$  и  $c = 1,8$  кПа, что позволило отнести его к пескам средней крупности (среднефракционным). Данные характеристики влияют на такие деформационные показатели грунтового основания, как несущая способность (и в этом случае грунт будет меньше подвержен деформациям и выдержит большие статические и динамические нагрузки по сравнению с крупнопористым, так как под давлением объем пор уменьшается, грунт сжимается, и сооружение даёт осадку).

При строительстве фундамента на торфяных, илистых и глинистых грунтах требуется устройство песчаной подушки. Данные грунты за счет высокого показателя природной влажности при отрицательных температурах изменяют свою однородность и подвержены пучению при промерзании. Вследствие чего в основании здания или сооружения без песчаной подушки возникают неравномерные нагрузки и, как результат, осадки и просадки объекта в целом, а также локальные дефекты в виде трещин несущих конструкций стен и перекрытий, деформаций оконных и дверных проёмов.

В связи с этим важное значение имеют определение физико-механических характеристик грунтов на стадии изыскания и расчёт параметров основания на стадии проектирования. Качественно выполненные штамповые испытания позволили обосновать возможность применения песка с целью уменьшения эффекта морозного пучения под подошвой фундамента мелкого заложения. В свою очередь, грамотное выполнение расчёта параметров песчаной подушки существенно продлевает срок службы здания, защищая его фундамент и армирование от грунтовой влаги.

### Список литературы

1. Болдырев, Г.Г. Методы определения механических свойств грунтов с комментариями к ГОСТ 12248-2010: моногр. / Г.Г. Болдырев. – 2-е изд., доп. и испр. – М.: ООО «Прондо», 2014. – 812 с.

---

2. ГОСТ 12248-2010. Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/gost-12248-2010>. Дата обращения: 18.01.2020.

3. Освоение методики компрессионного сжатия при изучении дисциплины «Геотехнические исследования грунтов» / Н.И. Тарасеева, Ю.В. Грачева, М.С. Хрипунова, В.А. Моршанкин // Вестник ПГУАС: строительство, наука и образование. – 2021. – №2(13). – С.87–89.

4. Прочностные характеристики грунтов в условиях прямого среза по методу ГОСТ 12248 / Ю.В. Грачева, Н.И. Тарасеева, М.С. Хрипунова, А.С. Крылов // Образование и наука в современном мире. Инновации. – 2021. – №2 (33). – С. 99–103.

5. Тарасеева, Н.И. Обзор методики применения приборов компрессионного сжатия и одноплоскостного среза в исследовательской деятельности магистрантов / Н.И. Тарасеева, Ю.В. Грачева, А.С. Володин // Вестник ПГУАС: строительство, наука и образование. – 2020. – №2(11). – С.67–72.

6. Шитова, И.Ю. Водопоглощение и водостойкость композиционных материалов на аппретированном наполнителе / И.Ю. Шитова // Образование и наука в современном мире. Инновации. – 2017. – № 2 (9). – С. 225–231.

### References

1. Boldyrev, G.G. Methods for determining the mechanical properties of soils with comments to GOST 12248-2010: monograph / G.G. Boldyrev. – 2nd ed., add. and ispr. – M.: LLC «Prondo», 2014. – 812 p.

2. GOST 12248-2010. Soils. Methods of laboratory determination of strength and deformability characteristics. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/gost-12248-2010>. Date of application: 18.01.2020.

3. Mastering the compression technique in the study of the discipline «Geotechnical soil research» / N.I. Taraseeva, Yu.V. Gracheva, M.S. Khripunova, V.A. Morshankin // Bulletin of PGUAS: construction, science and education. – 2021. – No.2(13). – P.87–89,

4. Strength characteristics of soils in conditions of a direct cut according to the GOST 12248 method / Yu.V. Gracheva, N.I. Taraseeva, M.S. Khripunova, A.S. Krylov // Education and science in the modern world. Innovation. – 2021. – No.2 (33). – P. 99–103.

5. Taraseeva, N.I. Review of the methodology for the use of compression and single-plane slice devices in the research activities of undergraduates / N.I. Taraseeva, Yu.V. Gracheva, A.S. Volodin // Vestnik PGUAS: construction, science and education. – 2020. – No. 2(11). – P.67–72.

6. Shitova, I.Yu. Water absorption and water resistance of composite materials on a finished filler / I.Yu. Shitova // Education and science in the modern world. Innovation. – 2017. – No. 2 (9). – P. 225–231.

Пензенский государственный университет  
архитектуры и строительства

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

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

**Kislicina Svetlana Nikolaevna**,  
Candidate of Sciences, Associate Professor of the  
department «Building materials and woodworking  
technology»  
E-mail: techbeton@pguas.ru

## ВЫБОР МИНЕРАЛЬНОЙ ЧАСТИ ГИБРИДНОЙ ДОБАВКИ

С.Н. Кислицына

Исследовалась возможность применения глин местных месторождений в качестве минеральной составляющей модифицирующей добавки. Выбор минеральной части гибридной добавки осуществлялся по изменению в процессе термообработки при различной температуре плотности, массы, объема и гранулометрического состава глинистого сырья местных месторождений.

*Ключевые слова: минеральная составляющая модифицирующей добавки, плотность, объем, гранулометрический состав*

## SELECTION OF THE MINERAL PART OF THE HYBRID ADDITIVE

S.N. Kislicina

The article examines the possibility of using clays from local deposits as a mineral component of a modifying additive. The selection of the mineral part of the hybrid additive was carried out by changing the density, mass, volume and granulometric composition of clay raw materials of local deposits during heat treatment at different temperatures.

*Keywords: mineral component of the modifying additive, density, volume, granulometric composition*

Одним из главных направлений в технологии композиционных материалов является разработка надежных методов синтеза высокотехнологичных наноструктурных органо-минеральных композитов. Это связано с тем, что свойства нанокompозитов сильно отличаются от объемных свойств составляющих их фаз и определяются свойствами наночастиц наполнителя, образуемых ими структур и межфазным взаимодействием на границе полимерной матрицы с наполнителем. Силу и степень взаимодействия на межфазной границе можно регулировать как с помощью введения различных поверхностных функциональных групп, так и путем уменьшения размеров частиц наполнителя. Технология полимерных нанокompозитов на основе слоистых силикатов сочетает оба эти подхода благодаря способности слоистых силикатов к ионному обмену с органическими катионами и способности к самопроизвольному диспергированию с образованием сильно анизометричных частиц с нанометровой толщиной [1...3].

Синтез сероорганических соединений в присутствии наноразмерных гибридных добавок, совместно формирующих в структуре материала упруго-эластичную сетку, позволяет значительно повысить долговечность дорожных сероасфальтобетонов и их эксплуатационные свойства, а также использовать при изготовлении некондиционные заполнители, широко распространенные на территории Российской Федерации [2, 3].

В качестве минеральной составляющей гибридной добавки были рассмотрены глины месторождений Пензенской области. Глины являются полиминеральными и

различаются по структуре глинообразующего минерала и по количественному соотношению составляющих оксидов. Минеральный тип глин и их емкость катионного поглощения представлены в табл. 1 [4].

Т а б л и ц а 1

Некоторые свойства и минеральный тип исследуемых глин

Месторождение глины	Истинная плотность $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	Емкость катионного поглощения $E$ , мг-экв на 100г глины	Минеральный тип глины
Иссинское	2530	11,6	Каолинитовая
Лягушевское	2640	44,0	Монтмориллонитовая
Колгушкин бугор (черная)	2502	33,0	Бейделлитовая
Колгушкин бугор (серая)	2530	35,1	

Величина структурных преобразований и адсорбционная способность минеральной составляющей будут зависеть от температуры обработки сырья.

Выбор вида минеральной составляющей модифицирующей добавки осуществляли по изменению в процессе термообработки при различной температуре плотности, массы, объема и гранулометрического состава глинистого сырья.

Исследования изменения гранулометрического состава глин в процессе их термообработки проводили методом седиментационного анализа.

На рис. 1 представлены результаты экспериментальных исследований изменения плотности и массы минерального сырья в процессе его термообработки.

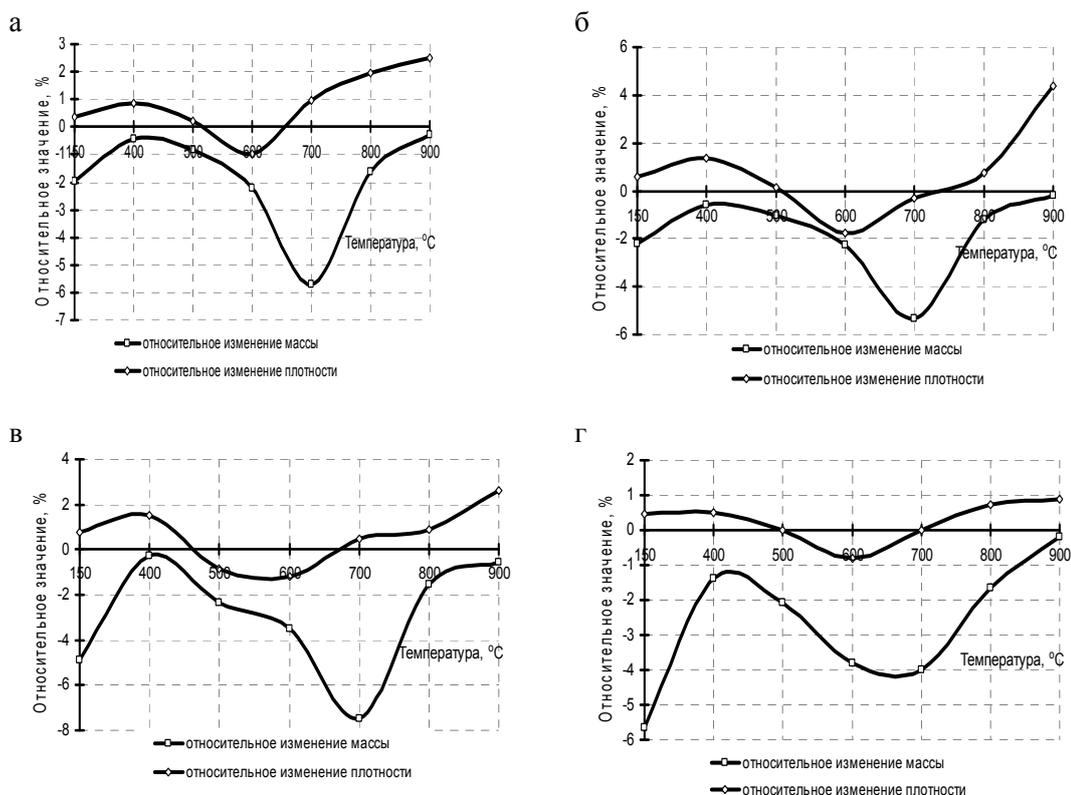


Рис. 1. Изменение массы и истинной плотности в процессе термообработки глин месторождений:

а – Иссинское; б – Лягушевское; в – Колгушкин бугор (серая); г – Колгушкин бугор (черная)

Как видно из полученных экспериментальных данных, для глин всех месторождений после термической обработки при температуре 150°C наблюдается незначительное увеличение плотности и уменьшение объема. Это, вероятно, связано с удалением свободной гигроскопической воды, что характерно и для каолинита, и для монтмориллонита. В интервале температур от 150 до 400°C происходит удаление межпакетной воды из монтмориллонита, а также выделение воды из примесей других минералов.

В интервале температур от 400 до 600°C для минерала каолинита характерно удаление воды, связанной в решетке каолинита в виде гидроксидов, что приводит в дальнейшем к образованию метакаолинита. При дегидратации уменьшается плотность, а наблюдающееся до 600°C увеличение объема при более высокой температуре сменяется усадкой и возрастанием плотности. Для монтмориллонита в этом диапазоне температур характерно удаление конституционной воды, связанной в виде гидроксидов. Потеря гидроксильной воды начинается около 500°C и заканчивается около 800°C, достигая максимума около 700°C. У монтмориллонита при удалении гидроксильной воды слоистый тип сохраняется, при этом наблюдается лишь незначительное изменение относительного расположения слоев. При обжиге при температуре выше 800°C у различных монтмориллонитов могут образовываться различные первичные фазы: либо шпинель, либо кварц.

Так как исследуемые глинистые породы полиминеральны, изменения массы, объема и плотности носят смешанный характер.

Анализ полученных экспериментальных данных показывает, что наибольшее снижение плотности наблюдается при термообработке при температуре 600°C. У глин Лягушевского месторождения (монтмориллонитовый тип) снижение плотности в интервале температур 500...600°C более значительно и составляет 1,78 %, для глин Иссинского месторождения (каолинитовый тип) – 1 %, для глин месторождения Колгушкин бугор (бейделлитового типа): серой – 1,1 %; черной – 0,7 %.

На рис.2 представлены экспериментальные данные исследования изменения гранулометрического состава глины одного из месторождений в процессе ее термообработки.

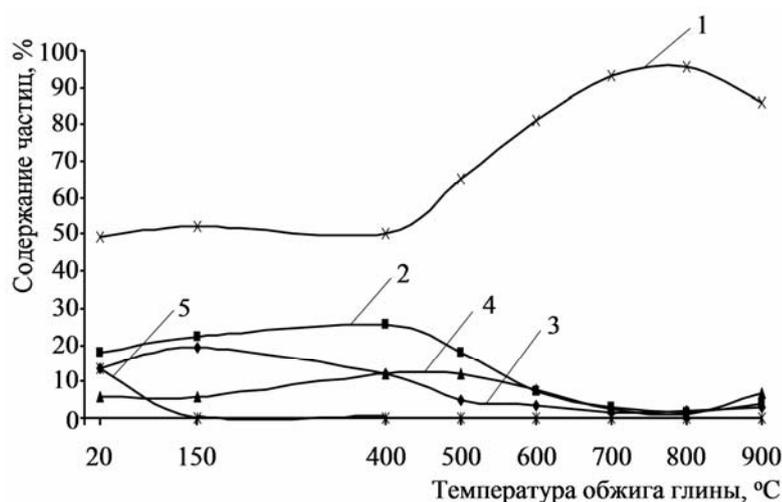


Рис. 2. Влияние температуры термообработки на гранулометрический состав глины месторождения Лягушевское, размер частиц, мм:  
1 – 0,005-0,01; 2– 0,01-0,071; 3 – 0,001-0,005; 4– более 0,071; 5– менее 0,001

Как видно из представленных на рис. 2 данных, в процессе термообработки при различных температурах вследствие различных структурных превращений изменяется гранулометрический состав глины (подобная закономерность характерна и для глин других месторождений).

При обжиге глин Лягушевского месторождения содержание глинистых частиц (<0,005 мм) незначительно увеличивается после обжига при температурах до 400°C

(кривые 2, 3), затем их содержание скачкообразно падает в интервале температур от 400 до 600°C. При обжиге глин других месторождений также наблюдается незначительное увеличение содержания глинистых частиц после обжига при температуре 150°C, а затем уменьшение их содержания, однако этот процесс носит более плавный характер. Содержание песчаных фракций (0,005-0,071 мм) после термообработки при 400°C увеличивается (кривые 1, 4).

Содержание глинистых частиц после термообработки при различных температурах представлено в табл. 2.

Т а б л и ц а 2

Содержание глинистых частиц в зависимости от температуры термообработки

Месторождение глин	Содержание глинистых фракций, %, при температуре термообработки, °С							
	20	150	400	500	600	700	800	900
Иссинское	25,6	37,6	31,6	29,44	12,48	10,2	3,28	3,56
Лягушевское	31,6	41,6	37,6	22,6	11,0	4,68	3,48	7,12
Колгушкин бугор (черная)	19,04	22,18	21,0	17,08	13,05	9,31	5,05	2,5
Колгушкин бугор (серая)	22,08	34,62	27,28	21,3	13,46	10,43	4,57	3,8

Анализ результатов, представленных в табл. 2, показывает, что наибольшее содержание глинистых частиц наблюдается у глин Лягушевского месторождения – 31,6 %. Высокодисперсная часть глин оказывает решающее влияние на их адсорбционные свойства. Во фракции 1 мкм обнаруживается обычно не более 5 % кварца, а основная масса высокодисперсной фракции состоит из минералов монтмориллоновой группы, иногда слюд, гидрослюд, оксидов железа и алюминия [5]. Во фракции 1-5 мкм, наоборот, обычно содержится значительное количество кварца. Коллоидные частицы, находящиеся в нанометровом диапазоне размеров 0,2–0,3 мкм, как правило, содержат только минералы монтмориллоновой группы и аморфные вещества.

В процессе термообработки при температуре 150°C содержание глинистых частиц увеличивается, что, вероятно, связано с удалением гигроскопической и свободной воды. При дальнейшей термообработке в интервале температур от 400 до 600°C наблюдается уменьшение содержания глинистых фракций, которое носит скачкообразный характер, что свидетельствует о структурных изменениях, происходящих при обжиге глин. В этом интервале температур характерно удаление воды, связанной в решетке каолинита в виде гидроксидов, что приводит к увеличению объема частиц (т.е. к их укрупнению), что способствует их более быстрому оседанию, т.е. переходу в более крупную фракцию.

Снижение содержания глинистых веществ в процессе термообработки при 600°C для глин Иссинского месторождения составило 51,2 %, Лягушевского месторождения – 65,2 %, месторождения Колгушкин бугор (серая) – 39 %, Колгушкин бугор (черная) – 31,5 %.

Анализируя полученные экспериментальные данные (исследование изменения плотности, массы, объема и гранулометрического состава в процессе термообработки), а также учитывая минеральный состав глин и способность глин к поглощению катионов (см. табл. 1), можно сделать вывод, что в качестве минеральной части гибридной наноразмерной добавки целесообразно использовать глину Лягушевского месторождения (минеральный тип – монтмориллоновая). Минералы этой группы представляют собой наиболее интересную группу глинистых минералов благодаря их способности к адсорбции и внешнекристаллическому набуханию.

---

## Список литературы

1. Покидько, Б.В. Адсорбционное модифицирование слоистых силикатов для получения полимерсиликатных нанокompозитов: дис... канд. техн. наук / Б.В. Покидько. – М.: 2004.
2. Баженов, Ю.М. Наномодифицированные коррозионно-стойкие серные строительные материалы: монография / Ю.М. Баженов [и др.]. – М.: РГАУ-МСХА, 2008. – 167 с.
3. Шитова, И.Ю. Методологические принципы создания строительных материалов на примере серных композитов / И.Ю. Шитова, Я.Ю. Моськин // Вестник ПГУАС: строительство, наука и образование. – Пенза: ФБГОУ ВО «Пензенский государственный университет архитектуры и строительства». – 2020. – №2(11). – С. 73–79.
4. Береговой В.А. Методика подбора и обоснование компонентного состава сырьевых смесей для изготовления теплоизоляционных пенокерамобетонов / В.А. Береговой, Е.В.Королев, Н.А.Прошина, А.М.Береговой // Строительные материалы. – 2010, – №12. – С 2–4.
5. Куколев, Г.В. Химия кремния и физическая химия силикатов / Г.В. Куколев. – М.: Высшая школа, 1966. – 232 с.

## References

1. Pokidko, B.V. Adsorption modification of layered silicates for the production of polymer-silicate nanocomposites: Dis... Candidate of Sciences / B.V.Pokidko. – M.: 2004.
2. Bazhenov, Yu.M. Nanomodified corrosion-resistant sulfur building materials: monograph / Yu.M. Bazhenov [et al.]. – M.: RGAU-MSHA, 2008. – 167 p.
3. Shitova, I.Y. Methodological principles of the creation of building materials on the example of sulfur composites / I.Y. Shitova, Ya.Yu. Moskin // Bulletin of PGUAS: construction, science and education. – Penza: Penza State University of Architecture and Construction. – 2020. – No.2(11). – P. 73–79.
4. Beregovoy V.A. Method of selection and justification of the component composition of raw mixtures for the manufacture of heat-insulating foam concrete / V.A.Beregovoy, E.V.Korolev, N.A.Proshina, A.M.Beregovoy // Building materials. – 2010, – No. 12. – P. 2–4.
5. Kukolev, G.V. Chemistry of silicon and physical chemistry of silicates: G.V. Kukolev. – M.: Higher School, 1966. – 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

**Коровкин Марк Олимпиевич,**  
кандидат технических наук, доцент  
кафедры «Технологии строительных  
материалов и деревообработки»  
E-mail: m\_korovkin@mai.ru

**Ерошкина Надежда Александровна,**  
кандидат технических наук, доцент  
кафедры «Технологии строительных  
материалов и деревообработки»

**Егоров Алексей Юрьевич,**  
магистрант

*Penza State University of Architecture  
and Construction*

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

**Korovkin Mark Olympievich,**  
Candidate of Sciences, Associate Professor  
of the department «Building materials and  
woodworking technology»  
E-mail: m\_korovkin@mai.ru

**Eroshkina Nadezhda Aleksandrovna,**  
Candidate of Sciences, Associate Professor  
of the department «Building materials and  
woodworking technology»

**Egorov Aleksey Yurievich,**  
Master's student

## ВЛИЯНИЕ ХИМИЧЕСКИХ ДОБАВОК НА ВОДОПОГЛОЩЕНИЕ САМОУПЛОТНЯЮЩЕГОСЯ БЕТОНА, ИЗГОТОВЛЕННОГО С ПРИМЕНЕНИЕМ ВТОРИЧНОГО ЗАПОЛНИТЕЛЯ

М.О. Коровкин, Н.А. Ерошкина, А.Ю. Егоров

Исследовано влияние добавок, повышающих водонепроницаемость на водопоглощение по массе и капиллярное водопоглощение бетона. Установлено, что исследованные добавки незначительно снижают водопоглощение бетона, а применение защитного покрытия от проникновения воды обеспечивает многократное снижение исследуемой характеристики бетона в течение нескольких часов.

*Ключевые слова: рециклированный заполнитель, бетонный лом, самоуплотняющийся бетон, водопоглощение, добавки*

## EFFECT OF CHEMICAL ADMIXTURES ON WATER ABSORPTION OF SELF-COMPACTING CONCRETE MADE WITH RECYCLED AGGREGATE

М.О. Korovkin, N.A. Eroshkina, A.Yu. Egorov

The effect of additives that increase water resistance on the water absorption of concrete and water absorption during capillary suction was studied. It was established that the studied additives slightly reduce the water absorption of concrete, and the use of a protective coating against water penetration provides a multiple decrease in the studied characteristics of concrete only for several hours.

*Keywords: recycled aggregate, concrete scrap, self-compacting concrete, water absorption, admixture*

Водопоглощение относится к числу ключевых факторов, определяющих долговечность бетона. От степени насыщения бетона водой и водными растворами коррозионных агентов, а также скорости массообменных процессов зависит стойкость бетона к морозной и коррозионной деструкции.

Бетонные смеси, изготовленные с применением продуктов переработки лома (вторичного или рециклированного заполнителя), характеризуются повышенной водопотребностью, которая обусловлена пористостью и водопоглощением содержащегося в

таким заполнителем цементного камня. Увеличение расхода воды при замещении природного щебня на рециклированный заполнитель приводит к снижению прочности и повышению водопоглощения бетона за счет повышения пористости не только цементного камня в бетоне, но и растворной составляющей вторичного заполнителя.

Содержание во вторичном заполнителе пористого и малопрочного компонента позволяет производить только бетоны с низкой прочностью и долговечностью [1]. В то же время такой заполнитель имеет некоторые преимущества, в частности бетоны на его основе характеризуются более высокой стойкостью к ударным воздействиям [2]. В работе [3] приведены доказательства возможности получения с применением вторичного заполнителя самоуплотняющегося бетона с прочностью 50 МПа и более, однако содержание в таком бетоне заполнителя с более высокой, чем у природного щебня, пористостью и водопоглощением ставит под сомнение долговечность бетона [4]. В связи с этим разработку эффективных методов снижения водопоглощения бетона, изготовленного с применением продуктов переработки бетонного лома, позволит расширить область применения этого материала, перспективного с точки зрения создания экономики замкнутого цикла.

Уменьшение водопоглощения бетона в технологии бетона достигается путем снижения водоцементного отношения за счет использования добавок водоредуцирующей группы. В тех случаях, когда применение водоредуцирующих или суперводоредуцирующих добавок не позволяет получить необходимый эффект, могут дополнительно использоваться добавки гидрофобизирующего, кольматирующего или расширяющего действия.

Исследование эффективности добавок SikaControl-260 WT и «Пенетрон Адмикс», повышающих водонепроницаемость, проводилось в составах самоуплотняющихся бетонов, в которых заполнителями являлись продукты переработки бетонного лома, а также гранитный щебень. Дозировка указанных добавок в эксперименте составляла 1 % от массы смешанного вяжущего. Для приготовления бетона применялись цемент ЦЕМ II/A-Ш 32,5 и песок Камского месторождения фр. 0-0,63 мм. В качестве заполнителя в контрольных составах использовался щебень фр. 5-10 мм Павловского месторождения (Воронежская обл.), марки по дробимости 1400 и отсев его дробления фр. 1,25-5 мм, а для оптимизации гранулометрического состава мелкого заполнителя – гранитная мука, измельченная до удельной поверхности 350 м<sup>2</sup>/кг. В исследуемых составах на основе рециклированного заполнителя применялись вторичный щебень фр. 5-10 мм (марка по дробимости 600, водопоглощение 5,2 %) и отсев его дробления фр. 1,25-5 мм, а также – в качестве порошкового компонента – мука бетонная, измельченная до удельной поверхности 350 м<sup>2</sup>/кг, отсев дробления вторичного заполнителя с размером частиц менее 1,25 мм. Объемное содержание гранитного и вторичного заполнителя в составах было постоянным. Составы бетонов приведены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

Составы исследованных бетонов

Наименование компонента	Расход компонентов, кг/м <sup>3</sup>					
	1 состав	2 состав	3 состав	4 состав	5 состав	6 состав
Цемент	455	455	455	471	471	471
Мука бетонная	183	183	183	–	–	–
Мука гранитная	–	–	–	206	206	206
Щебень вторичный	723	723	723	–	–	–
Отсев дробления бетона	153	153	153	–	–	–
Щебень гранитный	–	–	–	763	763	763
Отсев дробления гранита	–	–	–	168	168	168
Песок	551	551	551	588	588	588
Вода	219	219	219	185	185	185
Sika Viscocrete 5-600 SK	5,6	5,6	5,6	5,8	5,8	5,8
SikaControl 260 WT	–	6,4	–	–	6,4	–
«Пенетрон Адмикс»	–	–	6,4	–	–	6,4

В исследуемых бетонах была также изучена эффективность защитного покрытия от проникновения влаги Sika Antisol AquaBar. Это покрытие наносилось на поверхность образцов в один слой с помощью кисти в количестве 90-100 г/м<sup>2</sup>.

Бетонные смеси имели самоуплотняющуюся консистенцию и характеризовались распылом конуса Хегермана 250-270 мм. Из приготовленных смесей были изготовлены образцы размером 40×40×160 мм, которые после твердения в нормальных условиях в течение 28 сут высушивались при температуре 60 °С до постоянной массы. После высушивания половинки образцов-балочек исследовались на кинетику водопоглощения при полном погружении в воду и водопоглощения при капиллярном подсосе по ГОСТ Р 58277-2018.

Водопоглощение при полном погружении в воду, %, рассчитывалось по формуле

$$W_m = 100 (m_2 - m_1) / m_1,$$

где  $m_1$  – масса сухого образца, кг;  $m_2$  – масса образца после насыщения водой, кг.

Водопоглощение при капиллярном подсосе  $W_{кп}$ , кг/(м<sup>2</sup>·ч<sup>0,5</sup>), определялось по формуле

$$W_{кп} = K_w(m_2 - m_1) / S,$$

где  $m_1$  – масса сухого образца, кг;  $m_2$  – масса образца после насыщения водой, кг;  $S$  – площадь увлажняемой грани, м<sup>2</sup>;  $K_w$  – коэффициент, учитывающий продолжительность насыщения, равный  $1 / \sqrt{T}$  ( $T$  – время, ч).

Графики зависимости водопоглощения от продолжительности насыщения водой приведены на рис. 1 и 2, а принятые итоговые значения – в табл. 2.

Т а б л и ц а 2

Водопоглощение исследованных составов бетона

Водопоглощение	1 состав	2 состав	3 состав	4 состав	5 состав	6 состав
Необработанные образцы						
При полном погружении, %	4,8	4,7	4,6	2,8	2,7	2,5
Капиллярное, кг/(м <sup>2</sup> ·ч <sup>0,5</sup> )	0,0146	0,0146	0,0161	0,0109	0,0150	0,0115
Образцы, обработанные Sika Antisol AquaBar						
При полном погружении %	4,6	4,0	4,0	2,9	2,6	2,7
Капиллярное, кг/(м <sup>2</sup> ·ч <sup>0,5</sup> )	0,0063	0,0075	0,0091	0,0104	0,0074	0,0041

Анализ графиков на рис. 1 и данных в табл. 2 показывает, что замена высококачественного гранитного заполнителя в бетоне на продукты переработки бетонного лома приводит к повышению водопоглощения приблизительно в два раза в сравнении с бетоном на высококачественном заполнителе. Это объясняется более высоким водоцементным отношением бетона на рециклированном заполнителе. Добавки SikaControl-260 WT и «Пенетрон Адмикс» оказывают незначительное влияние на водопоглощение исследованных бетонов.

Намного эффективнее действие этих добавок при насыщении бетона водой, поверхностная обработка составом Sika Antisol AquaBar дает существенно больший защитный эффект. Как видно из графиков на рис. 1, применение этого защитного покрытия на начальном этапе насыщения образцов водой в несколько раз снижает водопоглощение бетона. Однако действие этого покрытия уже через 1 сутки почти не проявляется.

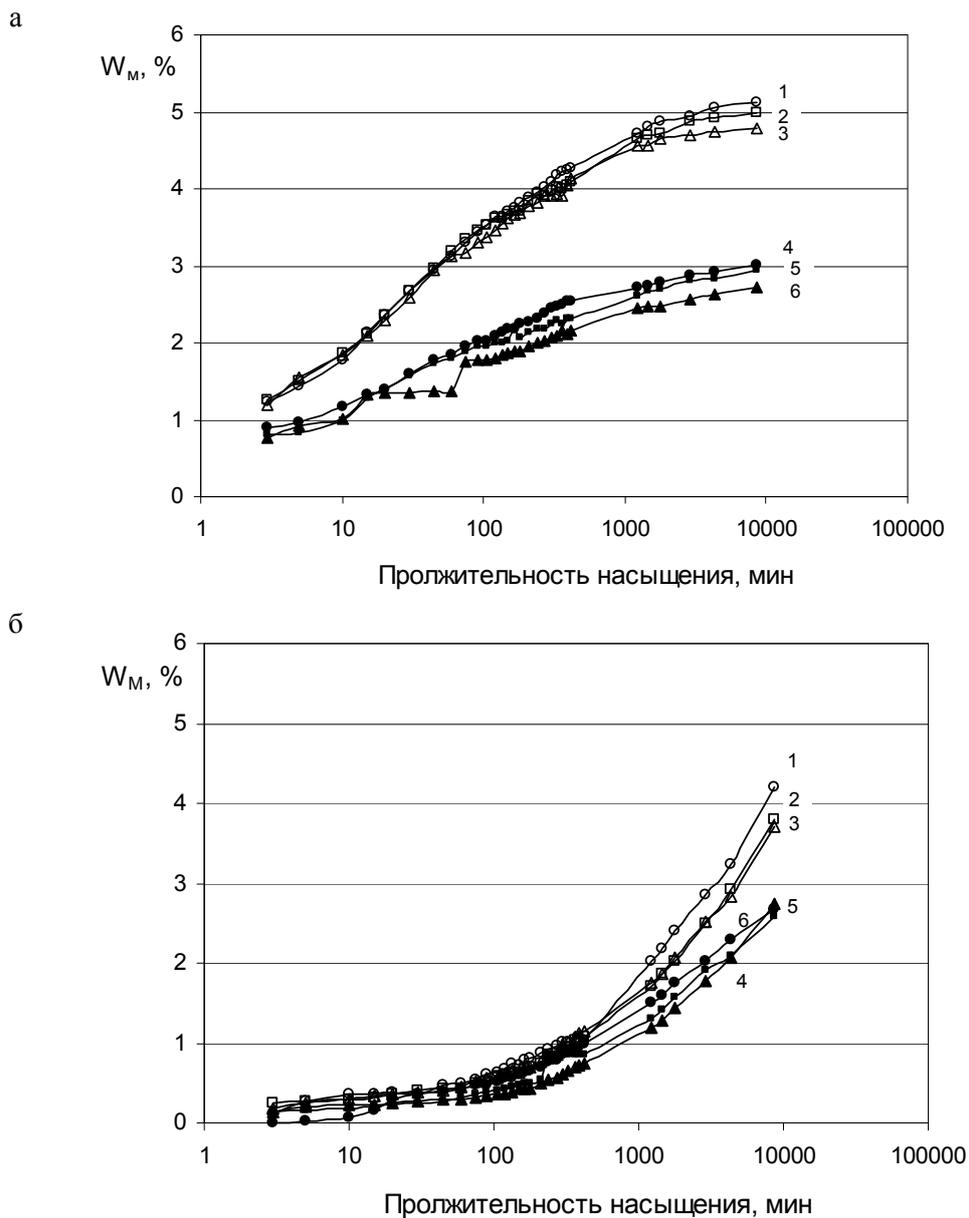


Рис. 1. Кинетика водопоглощения бетона на вторичном заполнителе (1, 2, 3) и бетона на гранитном заполнителе (4, 5, 6) без уплотняющих добавок (1, 4), с добавками SikaControl-260 WT (2, 5) и «Пенетрон Адмикс» (3, 6) для образцов необработанных (а) и обработанных Sika Antisol AquaBar (б)

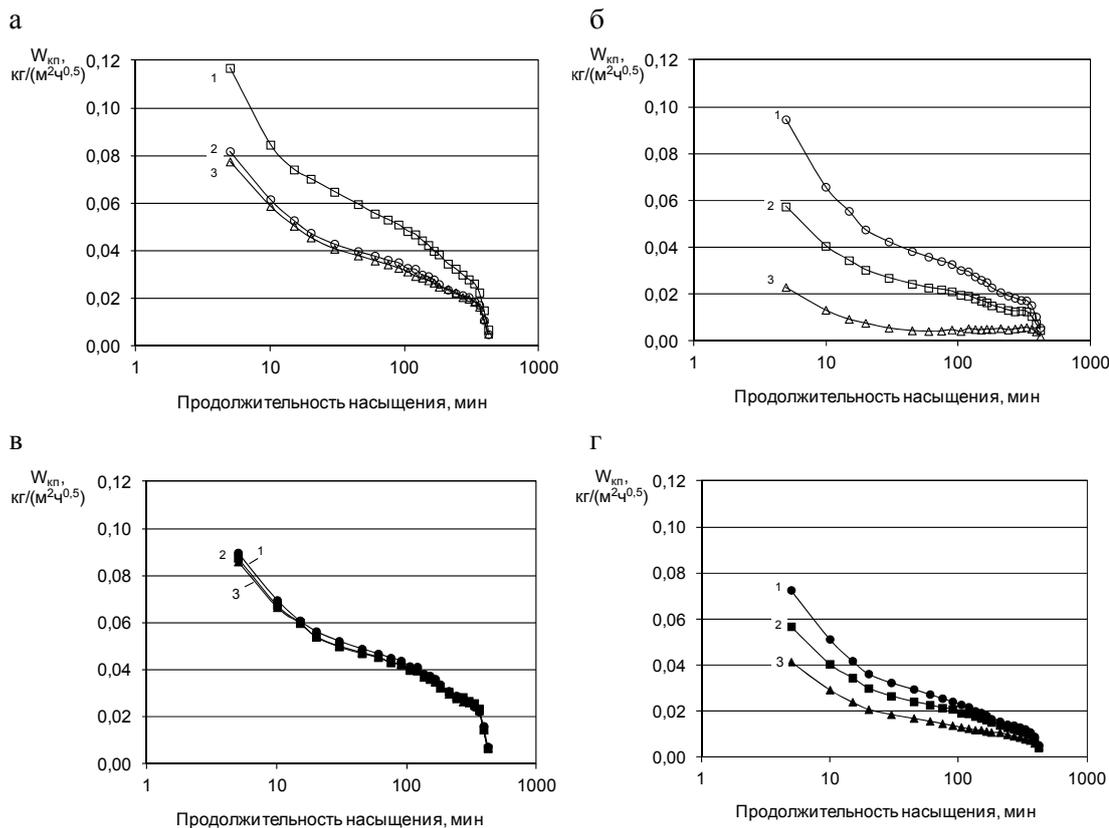


Рис. 2. Кинетика капиллярного водопоглощения бетона на вторичном заполнителе (а, б) и бетона на гранитном заполнителе (в, г) составов не обработанных (а, в) и обработанных Sika Antisol AquaBar (б, г); 1 – без добавки; 2 – SikaControl-260 WT; 3 – «Пенетрон Адмикс»

При насыщении бетона водой в условиях капиллярного подсоса снижение водопоглощения в бетонах на рециклированном заполнителе при использовании добавок SikaControl-260 WT и «Пенетрон Адмикс» отмечается только на начальном этапе воздействия воды (см. рис. 2), а затем положительный эффект постепенно падает. Следует указать на более высокую эффективность добавки «Пенетрон Адмикс» при ее совместном использовании с защитным покрытием Sika Antisol AquaBar.

#### Выводы

Сравнительные исследования водопоглощения самоуплотняющегося бетона, приготовленного на рециклированном заполнителе, и бетона на гранитном заполнителе показали, что бетон, изготовленный с применением продуктов дробления бетонного лома, характеризуется значительно более высоким водопоглощением. Снижение этих характеристик бетона при замене качественного заполнителя на вторичный щебень объясняется повышенной водопотребностью смеси на этом заполнителе. Добавки SikaControl-260 WT и «Пенетрон Адмикс», которые применяются для повышения водонепроницаемости бетона, не обеспечивают снижения водопоглощения исследованных составов. Защитное покрытие от проникновения влаги Sika Antisol AquaBar позволяет значительно снизить водопоглощение бетона только на начальном этапе насыщения водой, в связи с этим его применение может быть рекомендовано для бетонных конструкций, которые подвергаются непродолжительному воздействию воды, например действию атмосферных осадков.

#### Список литературы

1. Гусев, Б. В. Вторичное использование бетонов / Б.В. Гусев, В.А. Загурский. – М.: Стройиздат, 1988. – 95 с.

---

2. 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.

3. Коровкин, М.О. Использование дробленого бетонного лома в качестве заполнителя для самоуплотняющегося бетона / М.О. Коровкин, А.И. Шестернин, Н.А. Ерошкина // Инженерный вестник Дона. – 2015. – № 3(37). – С. 85.

4. Yehia, S. Strength and Durability Evaluation of Recycled Aggregate Concrete / S. Yehia, K. Helal, A. Abusharkh, et al. // International Journal of Concrete Structures and Materials. – 2015. – №9. – P. 219–239.

### References

1. Gusev, B.V. Secondary use of concrete / B.V. Gusev, V.A. Zagursky. – M.: Stroyizdat, 1988. – 95 p.

2. Eroshkina, N.A. The influence of coars aggregate material for strength characteristics of geopolymer concrete / N.A. Eroshkina, M.O. Korovkin // Vestnik PGUAS: stroitel'stvo, nauka i obrazovanie. – 2021. – № 2(13). – S. 28-33.

3. Korovkin, M.O. The use of crushed concrete scrap as a filler for self-compacting concrete / M.O. Korovkin, A.I. Shesternin, N.A. Eroshkina // Engineering Bulletin of the Don. – 2015. – № 3(37). – P. 85.

4. Yehia, S. Strength and Durability Evaluation of Recycled Aggregate Concrete / S. Yehia, K. Helal, A. Abusharkh, et al. // International Journal of Concrete Structures and Materials. – 2015. – №9. – P. 219–239.

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

**Панкина Мария Вячеславовна,**  
старший преподаватель кафедры  
«Геотехника и дорожное строительство»  
E-mail: pankina.mary@mail.ru;

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

**Шадрин Игорь Вячеславович,**  
магистрант  
E-mail: igorshadrin2505@gmail.com

Penza State University of Architecture  
and Construction

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

**Pankina Mariia Viacheslavovna,**  
Senior Lecturer of the department «Geotechnics  
and Road Construction»  
E-mail: pankina.mary@mail.ru;

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

**Shadrin Igor Viacheslavovich,**  
Master's degree student  
E-mail: igorshadrin2505@gmail.com

## ПРИЧИНЫ НЕРАВНОМЕРНЫХ ОСАДОК ФУНДАМЕНТОВ

М.В. Панкина, Ю.Р. Янгуразов, И.В. Шадрин

Приведены результаты обследования фундаментов, в ходе которого выявлены неравномерные осадки соседних участков здания, повлекшие за собой развитие трещин в несущих конструкциях. Причинами послужили многочисленные протечки и замачивание основания в течение периода эксплуатации здания, повышение уровня грунтовых вод в связи с массовой застройкой прилегающей территории. Из-за локального водонасыщения грунта значения прочности и деформируемости смежных слоев основания различаются вдвое, что влияет на скорость и величину осадки.

В ходе поверочных расчетов установлено, что давление под подошвой фундамента превышает расчетное сопротивление грунта, что недопустимо. В этом случае расчет осадки ведется с учетом нелинейности. Даются рекомендации по разработке проекта усиления фундаментов.

*Ключевые слова: ленточный фундамент, неравномерные осадки, осадка с учетом нелинейности, обследование здания*

## THE CAUSES OF FOUNDATIONS IRREGULAR SETTLEMENTS

M.V. Pankina, Y.R. Yangurazov, I.V. Shadrin

The results of foundations inspection are presented, they reveal irregular settlements of neighboring building sections were, they which have caused cracks in bearing structures. The reasons were numerous leaks and soaking of the basement during the period of the building exploitation, an increase in the groundwater level due to the massive adjacent territory development. Due to the local water saturation of the soil, the strength and deformability properties of the adjacent base layers differ by half, which affects the rate and amount of settlement.

During verification calculations, it was found that the pressure under the foundation bottom exceeds the estimated basement soil resistance, which is unacceptable. In this case, the settlement is calculated with nonlinearity. Recommendations on foundations strengthening are given.

*Keywords: strip foundation, irregular settlements, settlement with nonlinearity, building inspection*

Актуальной геотехнической проблемой является изменение инженерно-геологических и гидрогеологических условий в процессе продолжительной эксплуатации зданий и сооружений. Поднятие уровня подземных вод со временем и локальное замачивание основания в ходе аварий и протечек в инженерных системах усугубляют негативные процессы в грунте. Вследствие водонасыщения имеет место ухудшение

прочностных и деформационных свойств глинистых грунтов, а также увеличение показателя текучести. Опасными являются случаи неравномерного ухудшения свойств основания фундаментов, которые могут привести к аварийной ситуации [1, 2]. Указанная особенность выявлена при обследовании учебного корпуса №4 Пензенского государственного университета (ПГУ).

Четырехэтажный кирпичный корпус построен территориально в лесопарковой зоне г. Пензы в 60-х годах прошлого столетия вторым в очереди из современных зданий. На данный момент университетский городок насчитывает более десяти корпусов и пяти общежитий, расположенных в одном квартале. Активная застройка кампуса, многочисленные утечки в ходе эксплуатации зданий, подъем уровня грунтовых вод предположительно послужили причиной изменения свойств грунта. По результатам уточненных инженерно-геологических изысканий, проведенных в 2022 году, несущими слоями для фундамента корпуса №4 служат инженерно-геологические элементы ИГЭ-2 и ИГЭ-4 (рис. 1).

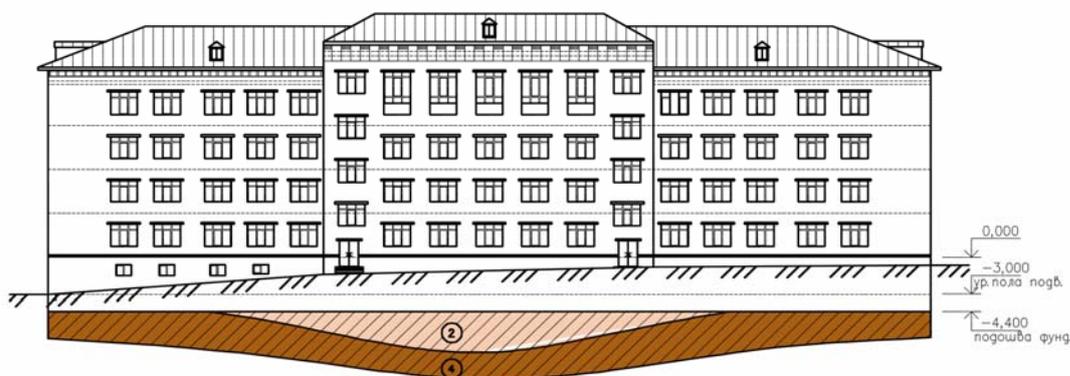


Рис. 1. Пример опирания ленточного фундамента под стеной фасада на разные слои грунтового основания

В ходе обследования четырехэтажного кирпичного корпуса обнаружены многочисленные трещины в наружных стенах всех фасадов здания, а также участки разрушения кирпичной кладки (рис. 2). При ультразвуковом исследовании выявлена низкая прочность внешнего слоя кирпича в местах разрушения поверхности кладки. Указанное снижение прочности произошло в результате долговременного замачивания кирпичной кладки с последующим замораживанием-оттаиванием. Вероятнее всего, замачивание участков фасадов ранее происходило из неисправных водосточных труб, которые в настоящее время демонтированы. Увлажнение цокольной части наружных стен происходит также за счет капиллярного подсоса влаги из-за отсутствия вертикальной и горизонтальной гидроизоляции стен в местах сопряжения с отмосткой. Необходимо отметить многочисленные следы замачивания нижней поверхности плит перекрытия. В целом на момент обследования установлено ограниченно работоспособное техническое состояние надземных конструкций здания.

Расположение и характер развития трещин указывают, что причиной деформации стен служат неравномерные осадки фундаментов. Для определения технического состояния фундамента были открыты шурфы. Установлено, что фундаменты выполнены ленточными на естественном основании из сборных железобетонных фундаментных плит по типу промышленных изделий серии ИИ-01-02. Высота фундаментных плит составляет 0,3 и 0,4 м. Под наружные несущие и самонесущие стены фундаментные плиты имеют ширину 1,6 м (рис. 3), под внутренние несущие стены – 2,0 м. Глубина заложения фундаментов от пола подвала составляет 1,4 м.

При оценке напряженно-деформированного состояния (НДС) грунтового основания выделено пять характерных сечений – участков нагружения (рис. 4). С учетом инженерно-геологических условий площадки, конструктивных особенностей здания,

характера и диапазона нагрузок на фундаменты выполнены расчеты фундаментов по второй группе предельных состояний (по деформациям).



Рис. 2. Характерные трещины в стенах корпуса

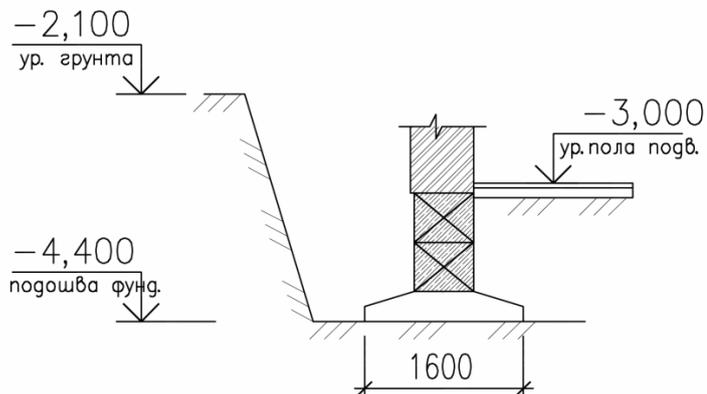


Рис. 3. Расчетная схема фундамента

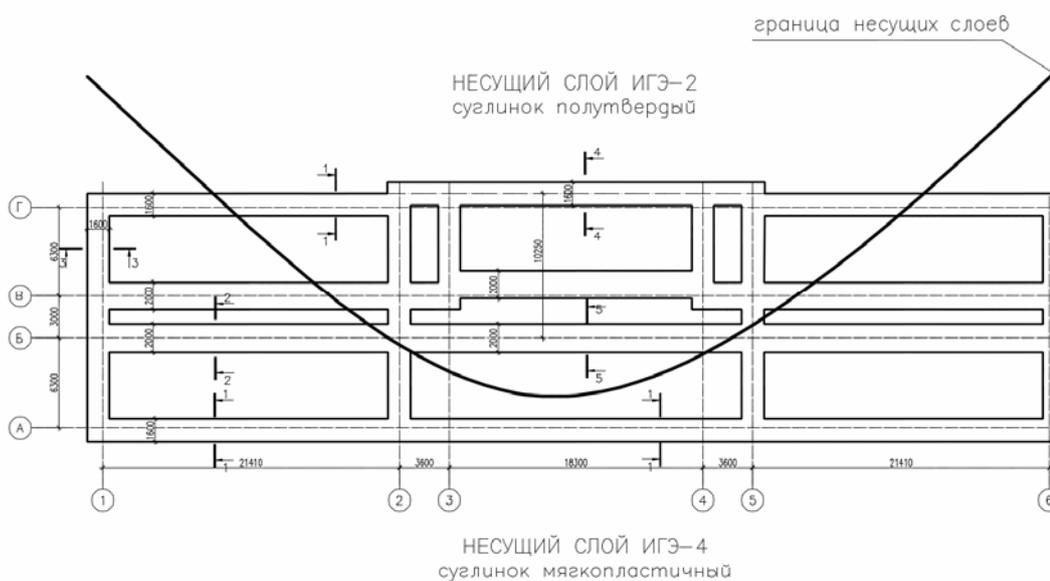


Рис. 4. План-схема фундаментов с обозначением характерных сечений и несущих слоев основания

Для расчета использовались характеристики грунта из технического отчета по результатам инженерно-геологических изысканий, выполненных летом 2022 года (табл. 1). Несущими являются слои: ИГЭ-2 – суглинок полутвердый и ИГЭ-4 – суглинок мягкопластичный. Между указанными слоями не только имеются значительные различия в прочности и степени пластичности, но и в два раза различаются величины модулей деформации, что указывает на разную скорость и значения осадки фундаментов [3, 4].

Т а б л и ц а 1

Физико-механические характеристики грунтов

ИГЭ	Наименование грунта	Удельный вес	Удельный вес минеральных частиц грунта	Коэффициент пористости	Показатель текучести	Угол внутреннего трения	Удельное сцепление	Модуль деформации
		$\gamma_{II}$	$\gamma_s$	$e$	$I_L$	$\varphi_{II}$	$c_{II}$	$E_{II}$
		кН/м <sup>3</sup>	кН/м <sup>3</sup>	д. ед.	д. ед.	град.	кПа	МПа
1	Насыпной грунт	15,0	-	-	-	-	-	-
2	Суглинок полутвердый	19,3	27,2	0,712	0,14	21	24	16,1
3	Суглинок тугопластичный	19,0	27,2	0,825	0,38	19	18	14,3
4	Суглинок мягкопластичный	18,7	27,2	0,884	0,62	16	15	8,7

Дополнительно отмечается, что слой ИГЭ-4 – суглинок мягкопластичный – является сильнопучинистым, характеризуется относительной деформацией морозного пучения  $\varepsilon_{fn} = 0,017$ . При проектировании оснований должны предусматриваться мероприятия, не допускающие увлажнения пучинистых грунтов основания, а также промораживания их в период строительства.

Расчет ленточных фундаментов по деформациям сводится к условию, что давление под подошвой фундамента не должно превышать расчетного сопротивления грунта  $P \leq R$ . Последнее определяется по формуле (5.7) СП 22.13330.2016 «Основания зданий и сооружений» в зависимости от прочностных характеристик грунта  $R = f(\gamma_{II}, \varphi_{II}, c_{II})$ . Из-за близкого расположения уровня грунтовых вод (УГВ) к подошве фундамента, а также прогнозирования подъема последнего вычисления ведутся с учетом взвешивающего действия воды. Расчетное сопротивление грунта слоя ИГЭ-2 (суглинок тугопластичный) составило  $R_{ИГЭ-2} = 295$  кПа, для ИГЭ-4 (суглинок мягкопластичный) значение в два раза меньше –  $R_{ИГЭ-4} = 143$  кПа. Результаты сравнения давления под подошвой фундамента в характерных сечениях с расчетным сопротивлением грунта, а также значения осадки сведены в табл. 2.

Т а б л и ц а 2

Сводная таблица поверочных расчетов

Сечение	Несущий слой под подошвой фундамента	Давление под подошвой фундамента	Расчетное сопротивление грунта	Условие $P \leq R$	Осадка (с учетом нелинейности)
		$P$	$R$		$S (S_{II})$
		кПа			см
1	2	3	4	5	6
1-1	ИГЭ-2 – суглинок тугопластичный	262	295	выполняется	2,2

1	2	3	4	5	6
	ИГЭ-4 – суглинок мягкопластичный	262	143	не выпол- няется	(16,7)
2-2	ИГЭ-4	216	144	не выпол- няется	(4,0)
3-3	ИГЭ-4	140	143	выпол- няется	1,7
4-4	ИГЭ-2	296	296	выпол- няется, на границе условия	2,9
5-5	ИГЭ-2	254	298	выпол- няется	2,8

В табл. 2 следует обратить внимание на существенные различия давлений под фундаментами стен, примыкающих друг к другу. Под наружную стену по оси «Г» в сечении 1-1 давление  $P_1 = 262$  кПа, под наружную продольную стену по оси «1» в сечении 3–3 –  $P_3 = 140$  кПа. При проектировании фундаментов рекомендуется приводить давления под подошвой всех частей здания к близким значениям. В данном случае указанные давления различаются в 1,8 раза, что обуславливает различие расчетных осадок.

На двух участках – в сечениях 1-1 (при опирании на грунт ИГЭ-4) и 2-2 – не выполняется условие для расчета осадки в линейной постановке, так как имеется превышение расчетного сопротивления основания. В этом случае следует учесть работу основания в нелинейной зависимости осадки от давления [5]. При указанной степени превышения необходимо выполнить проверку по отношению к предельному сопротивлению грунтового основания, а именно условие расчета по первой группе предельных состояний (по несущей способности):

$$R < P \leq P_u \frac{\gamma_c}{\lambda_n},$$

где  $P_u$  – предельное сопротивление грунта, кПа, которое определяется по формуле (5.32) СП 22.13330.2016;  $\gamma_c, \lambda_n$  – коэффициенты надежности.

Расчет осадки с учетом нелинейности ведется по методу М.В. Малышева с вычислением коэффициента нелинейности [6]. При анализе полученных данных осадок в сечении 1-1 при опирании на грунт ИГЭ-4 согласно СП 22.13330.2016 имеется недопустимое превышение предельных деформаций основания фундаментов многоэтажного бескаркасного здания с несущими стенами кирпичной кладки без армирования  $S_n = 16,7$  см  $>$   $S_u = 12,0$  см.

Известно, что на состояние надземных конструкций зданий влияют не столько величина осадки, сколько разность осадок соседних (параллельных) участков фундаментов. Для указанного типа здания предельная относительная разность осадок  $\Delta_u = 0,002$  по СП 22.13330.2016. Относительная разность осадок определяется как  $\Delta = \Delta S/L$ , где  $L$  – расстояние между осями фундаментов. Между фундаментами сечений 1-1 при опирании на ИГЭ-4 и 2-2 разность осадок составляет  $\Delta_{1-2} = (16,7 - 4,0)/630 = 0,02$ , между фундаментами сечений 1-1 при опирании на ИГЭ-4 и 5-5 –  $\Delta_{1-5} = (16,7 - 2,8)/630 = 0,022$ . Указанные значения превышают допустимое  $\Delta_u$  в 10,0 раза.

Основной причиной выявленных повреждений строительных конструкций здания являются неравномерные осадки фундаментов. Последние подтверждаются поверочными расчетами, выполненными по уточненным физико-механическим характери-

стикам грунтов основания. Предполагается, что неравномерность ухудшения свойств несущих слоев грунта обусловлена локальным обводнением основания во время массовой застройки вблизи здания и эксплуатации корпуса в течение 60 лет [7].

При оценке напряженно-деформированного состояния грунта установлена недопустимая разность осадок в сечениях соседних участков здания. Расчеты показывают, что разность осадок при опирании фундамента на неоднородные слои грунта превышает в 10,0 раза допустимое значение.

Для исключения проявления расчетных неравномерных деформаций грунтового основания следует разработать проект усиления фундаментов корпуса. В проекте необходимо предусмотреть мероприятия, позволяющие максимально перераспределить давление на грунтовое основание из условия минимизации разности расчетных осадок различных участков здания.

### Список литературы

1. Глухова, М.В. Опыт технического обследования предаварийных жилых домов в микрорайоне Заря г. Пензы / М.В. Глухова // Вестник ПГУАС: строительство, наука и образование. – 2022. – № 1(14). – С. 12–18.
2. Соколов, Н.С. Основные ошибки в геотехническом строительстве / Н.С. Соколов // Фундаменты. – 2021. – № 3(5). – С. 10–13.
3. Пономарев, А.Б. Влияние процесса подтопления на физико-механические свойства грунтов / А.Б. Пономарев, С.В. Калошина, Н.И. Салимгариева // Академический вестник УралНИИпроект РААСН. – 2013. – № 1. – С. 67–70.
4. Кудашева, М.И. Влияние процесса водонасыщения глинистого грунта основания на дополнительные осадки 5-этажного здания на ленточном фундаменте мелкого заложения / М.И. Кудашева, С.В. Калошина, Д.Г. Золотозубов // Вестник ПНИПУ. Строительство и архитектура. – 2018. – Т. 9, № 1. – С. 70–81. – DOI 10.15593/2224-9826/2018.1.07
5. Глухова, М.В. Малозаглубленные фундаменты малонагруженных зданий / М.В. Глухова, В.С. Глухов // Вестник ПГУАС: строительство, наука и образование. – 2021. – № 1(12). – С. 13–19.
6. Малышев, М.В. Прочность грунтов и устойчивость оснований сооружений / М.В. Малышев. – М.: Стройиздат, 1994. – 228 с.
7. Гарькин, И.Н. Устранение неравномерных осадок зданий на ленточных фундаментах / И.Н. Гарькин, М.В. Глухова // Приднепровский научный вестник. – 2018. – Т. 6, № 4. – С. 028–030.

### References

1. Glukhova, M.V. Technical inspection experience of pre-emergency housing in micro district Zarya in Penza / M.V. Glukhova // Bulletin of PGUAS: construction, science and education. – 2022. – № 1(14). – P. 12–18.
2. Sokolov, N.S. The main mistakes in geotechnical construction / N.S. Sokolov // Foundations. – 2021. – № 3(5). – P. 10–13.
3. Ponomarev, A.B. The influence of the flooding process on the physical and mechanical properties of soils / A.B. Ponomarev, S.V. Kaloshina, N.I. Salimgariev // Academic Bulletin of UralNIIProekt RAASN. – 2013. – № 1. – P. 67–70.
4. Kudasheva, M.I. The influence of water saturation of clay soil's base on additional settlements of a five-storey building with a strip shallow foundation / M.I. Kudasheva, S.V. Kaloshina, D.G. Zolotozubov // PNRPU Bulletin. Construction and Architecture. – 2018. – № 1. – P. 70–81. – DOI 10.15593/2224-9826/2018.1.07
5. Glukhova, M.V. The low deep foundation of lightly loaded building / M.V. Glukhova, V.S. Glukhov // Bulletin of PGUAS: construction, science and education. – 2021. – № 1 (12). – P. 13–19.
6. Malyshev, M.V. Strength of soils and stability of foundations of structures / M.V. Malyshev. – M.: Stroyizdat, 1994. – 228 p.
7. Garkin, I.N. Elimination of uneven precipitation of buildings on strip foundations / I.N. Garkin, M.V. Gluhova // Pridneprovsky Scientific Bulletin. – 2018. – Vol. 6, № 4. – P.028–030.

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

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

**Туманов Александр Вадимович**,  
студент  
E-mail: Dik\_Daks@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

**Shitova Inna Yurievna**,  
Candidate of Sciences, Associate Professor of the  
department «Technologies of building materials  
and woodworking»  
E-mail: Innalife1@rambler.ru

**Tumanov Aleksander Vadimovich**,  
Student  
E-mail: Dik\_Daks@mail.ru

## ПРИМЕНЕНИЕ ОСНОВ ТЕРМОДИНАМИКИ В СТРОИТЕЛЬНОМ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИИ НА ПРИМЕРЕ ВЫБОРА ДИСПЕРСНОЙ ФАЗЫ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ СЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ

И.Ю. Шитова, А.В. Туманов

Приведен пример использования основ физической химии в строительном материаловедении. На основании термодинамических расчетов произведен выбор наиболее пригодного наполнителя для изготовления химически стойкого композита на основе серного вяжущего.

*Ключевые слова: физическая химия, термодинамика, энтальпия, энтропия, изобарно-изотермический потенциал, энергия Гиббса, сера, серный композит, дисперсная фаза, наполнитель*

## APPLICATION OF THE FUNDAMENTALS OF THERMODYNAMICS IN BUILDING MATERIALS SCIENCE ON THE EXAMPLE OF THE CHOICE OF THE DISPERSED PHASE IN THE MANUFACTURE OF SULFUR COMPOSITES

I.Yu. Shitova, A.V. Tumanov

The article provides a specific example of using the basics of physical chemistry in building materials science. Based on thermodynamic calculations, the choice of the most suitable filler for the manufacture of a chemically resistant composite based on a sulfur binder was made.

*Keywords: physical chemistry, thermodynamics, enthalpy, entropy, isobaric-isothermal potential, Gibbs energy, sulfur, sulfur composite, dispersed phase, filler*

Как известно, технология строительных материалов базируется на основных закономерностях физической химии, следовательно, квалифицированный технолог и инженер-строитель должны иметь навыки теоретического и практического применения кинетических и термодинамических законов к физико-химическим, массообменным, тепловым и другим процессам, к фазовым переходам, которые возникают при изготовлении вяжущих веществ, керамических изделий, различных композитов и т.д.

Каждый строительный материал можно рассматривать как систему с присущими ей границами, свойствами и параметрами [1...3]. К последним относятся: удельный объем, давление, температура, концентрация, внутренняя энергия, энтальпия, энтропия и т. д. Если в системе происходит изменение хотя бы одного такого параметра, то это указывает на протекание термодинамического процесса. То есть изменение

химического состава является результатом химических реакций, а изменение физических параметров – результатом физических процессов.

Знание законов и правил термодинамики – одного из ключевых разделов физической химии – позволяет материаловедам определить возможность и направление самопроизвольного протекания химических реакций, энергетику этих процессов, устойчивость, выход и равновесные концентрации образующихся соединений, делать расчеты материального и теплового балансов, выбирать энергетически выгодные и максимально оптимальные условия проведения техпроцессов, кроме этого, предвидеть готовый результат и находить перспективу для создания новейших материалов с улучшенными свойствами.

Рассмотрим применение основ термодинамики на конкретном примере выбора дисперсной фазы при изготовлении строительного материала на основе серного вяжущего, который будет работать в условиях агрессивного воздействия минеральных кислот и солей.

Практически все породообразующие минералы и соединения, входящие в состав минералов, способны вступать в химические реакции с серой и образовывать соединения, растворимые в воде, что приводит к значительному снижению физико-механических и эксплуатационных характеристик готового продукта.

В нашем исследовании выбор дисперсной фазы делали на основании термодинамического анализа и рассчитанных значений изобарно-изотермического потенциала (энергии Гиббса,  $\Delta G$ ) [4]:

$$\Delta G = \Delta H - T \Delta S, \quad (1)$$

где  $\Delta H$  – изменение энтальпии процесса;  $T$  – температура процесса;  $\Delta S$  – изменение энтропии процесса.

Согласно первому следствию из закона Гесса  $\Delta H$  и  $\Delta S$  реакции рассчитываются по следующим формулам:

$$\Delta_r H_{298}^{\circ} = \sum_{j=1}^N (n_j \cdot \Delta_f H_{298,j}^{\circ})_{\text{прод}} - \sum_{i=1}^M (n_i \cdot \Delta_f H_{298,i}^{\circ})_{\text{исх}}; \quad (2)$$

$$\Delta_r S_{298}^{\circ} = \sum_{j=1}^N (n_j \cdot S_{298,j}^{\circ})_{\text{прод}} - \sum_{i=1}^M (n_i \cdot S_{298,i}^{\circ})_{\text{исх}}, \quad (3)$$

где  $\Delta_r H_{298}^{\circ}$  – стандартный тепловой эффект реакции при 298 К;  $\Delta_f H_{298,j}^{\circ}$  и  $\Delta_f H_{298,i}^{\circ}$  – стандартные энтальпии образования продуктов исходных веществ соответственно;  $\Delta_r S_{298}^{\circ}$  – энтропия реакции при 298 К;  $S_{298,j}^{\circ}$  и  $S_{298,i}^{\circ}$  – стандартные энтропии образования продуктов и исходных веществ соответственно;  $n_j$  и  $n_i$  – количество вещества продуктов и исходных веществ соответственно.

Если реакции протекает при температуре, отличной от стандартной, тогда в силу вступает закон Кирхгофа:

$$\Delta_r H_{T_2} = \Delta_r H_{T_1} + \int_{T_1}^{T_2} \Delta C_p dT, \quad (4)$$

где  $\Delta_r H_{T_2}$  и  $\Delta_r H_{T_1}$  – тепловые эффекты реакции при  $T_2$  и  $T_1$  соответственно;  $\Delta C_p$  – изменение удельной теплоёмкости системы участвующих в реакции веществ в конечном и начальном состоянии.

Значение изобарно-изотермического потенциала может иметь следующие варианты:

1)  $\Delta G < 0$  – при созданных условиях (давлении, температуре, концентрации и т.д.) возможно самопроизвольное протекание процесса;

2)  $\Delta G = 0$  – система находится в равновесном состоянии, созданных условий недостаточно для самопроизвольного протекания процесса;

3)  $\Delta G > 0$  – невозможно самопроизвольное протекание процесса при созданных условиях.

Главным критерием выбора наполнителя для изготовления химически стойкого серного композита являлась его химическая инертность к сере и действию минеральных кислот и солей. В таблицу сведены результаты термодинамических расчетов, которые были проведены для оценки возможности самопроизвольного протекания следующих групп химических реакций:

– между дисперсной фазой и серой в процессе приготовления материала при температуре изготовления  $T=165\pm 5^\circ\text{C}$ ;

– между дисперсной фазой и агрессивной эксплуатационной средой готового продукта при нормальной  $T=25^\circ\text{C}$  и повышенной  $T=50^\circ\text{C}$  температурах;

– между образующимися на границе раздела фаз «вяжущее – дисперсная среда» сульфидами и агрессивной эксплуатационной средой при нормальной  $T=25^\circ\text{C}$  и повышенной  $T=50^\circ\text{C}$  температурах.

Результаты расчетов изобарно-изотермического потенциала

Основной компонент наполнителя	Изобарно-изотермический потенциал, кДж/моль										
	Возможность получения сульфида при температуре изготовления материала	Эксплуатационная среда									
		кислота						соль			
		соляная		серная		азотная		хлорид натрия		сульфат магния	
	$T=25^\circ\text{C}$	$T=50^\circ\text{C}$	$T=25^\circ\text{C}$	$T=50^\circ\text{C}$	$T=25^\circ\text{C}$	$T=50^\circ\text{C}$	$T=25^\circ\text{C}$	$T=50^\circ\text{C}$	$T=25^\circ\text{C}$	$T=50^\circ\text{C}$	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Оксиды											
NaO	-287,9	$\frac{-449,2}{-233,2}$	$\frac{-432,4}{449,9}$	$\frac{-451,1}{-234,8}$	$\frac{-327,4}{556,4}$	$\frac{-412,8}{-196,5}$	$\frac{-380,0}{503,8}$	-	-	$\frac{1601,9}{2624,3}$	$\frac{1773,8}{330,3}$
K <sub>2</sub> O	-499,3	$\frac{-540,6}{-245,0}$	$\frac{-529,5}{417,2}$	$\frac{-543,2}{-247,6}$	$\frac{-403,5}{-233,2}$	$\frac{-541,0}{-245,5}$	$\frac{-388,8}{558,0}$	$\frac{-116,7}{-11,71}$	$\frac{-123,6}{-32,72}$	$\frac{1484,1}{1668,6}$	$\frac{1669,9}{2460,6}$
MgO	-161,7	$\frac{-70,0}{41,1}$	$\frac{-56,3}{99,8}$	$\frac{-2027,3}{-1916,2}$	$\frac{-2073,4}{-1913,3}$	$\frac{-252,8}{-141,7}$	$\frac{-123,1}{33,0}$	$\frac{353,9}{610,1}$	$\frac{349,7}{636,9}$	-	-
CuO	-162,2	$\frac{-72,4}{-35,4}$	$\frac{-42,9}{99,9}$	$\frac{-75,5}{40,1}$	$\frac{-43,3}{147,7}$	$\frac{-939,1}{-823,5}$	$\frac{-947,2}{-756,5}$	$\frac{496,7}{276,5}$	$\frac{494,3}{-300,6}$	$\frac{1951,8}{1956,3}$	$\frac{2030,4}{2065,0}$
CaO	-66,3	$\frac{-183,6}{-110,1}$	$\frac{-189,1}{-70,3}$	$\frac{-275,5}{-184,1}$	$\frac{-236,4}{-117,6}$	$\frac{-215,2}{-41,7}$	$\frac{-85,9}{33,0}$	$\frac{240,4}{123,2}$	$\frac{216,9}{-520,2}$	$\frac{1769,8}{1732,1}$	$\frac{1836,9}{1799,7}$
ZnO	-81,5	$\frac{-98,3}{-16,8}$	$\frac{-128,9}{-25,9}$	$\frac{-102,0}{-20,5}$	$\frac{-88,4}{14,6}$	$\frac{-1950}{-1869}$	$\frac{-1996,0}{-1893,0}$	$\frac{697,2}{217,7}$	$\frac{641,8}{-522,8}$	$\frac{1925,3}{1895,7}$	$\frac{-1985,0}{1932,0}$
BaO	-146,8	$\frac{-330,4}{-215,9}$	$\frac{-298,8}{-188,9}$	$\frac{-375,4}{-260,9}$	$\frac{-217,3}{-107,4}$	$\frac{-345,3}{-230,8}$	$\frac{-155,8}{-45,9}$	$\frac{93,5}{17,4}$	$\frac{108,2}{-638,8}$	$\frac{1651,9}{1655,3}$	$\frac{1857,1}{1869,9}$
SiO <sub>2</sub>	<b>302,3</b>	$\frac{107,4}{-}$	$\frac{59,5}{-}$	-	-	-	-	$\frac{955,3}{-}$	$\frac{871,5}{-}$	-	-
PbO	-108,6	$\frac{-172,5}{-63,8}$	$\frac{-157,8}{-25,0}$	$\frac{-172,6}{-63,9}$	$\frac{-181,6}{-48,7}$	$\frac{-146,2}{-37,5}$	$\frac{-160,5}{-27,6}$	$\frac{251,4}{169,5}$	$\frac{248,2}{-474,9}$	$\frac{1853,9}{1852,3}$	$\frac{1890,9}{1868,7}$
MnO	-21,1	$\frac{-111,4}{-60,7}$	$\frac{-83,9}{-11,3}$	$\frac{-146,0}{-95,3}$	$\frac{-163,9}{-91,3}$	$\frac{-89,7}{-39,0}$	$\frac{-105,1}{-32,5}$	$\frac{312,5}{172,6}$	$\frac{322,1}{-461,2}$	$\frac{1881,3}{1820,9}$	$\frac{1909,5}{1826,1}$

## Окончание таблицы

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
FeO	-36,92	$\frac{-106,5}{-47,0}$	$\frac{-186,4}{-200,6}$	$\frac{-122,0}{-62,5}$	$\frac{-212,1}{-226,3}$	$\frac{-3030}{-2971}$	$\frac{-3122,6}{-3136,8}$	$\frac{317,4}{186,3}$	$\frac{219,6}{-650,5}$	$\frac{1905,3}{1853,7}$	$\frac{1861,2}{1688,1}$
Соли											
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	193,0	$\frac{-163,4}{-}$	$\frac{-202,2}{-}$	$\frac{-164,8}{-}$	$\frac{-95,7}{-}$	$\frac{-126,5}{-}$	$\frac{-148,3}{-}$	-	-	$\frac{1813,2}{-}$	$\frac{1957,8}{-}$
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> **	242,4	$\frac{1,44}{-}$	$\frac{8,23}{-}$	-	-	$\frac{38,3}{-}$	$\frac{40,38}{-}$	-	-	-	-
K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	149,7	$\frac{-196,3}{-}$	$\frac{-144,8}{-}$	$\frac{-198,9}{-}$	$\frac{-18,7}{-}$	$\frac{-196,8}{-}$	$\frac{-4,1}{-}$	$\frac{-33,0}{-}$	$\frac{57,3}{-}$	$\frac{1779,0}{-}$	$\frac{2034,7}{-}$
K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> **	256,3	$\frac{2,6}{-}$	$\frac{9,58}{-}$	-	-	$\frac{1973,0}{-}$	$\frac{1985,6}{-}$	$\frac{1,2}{-}$	$\frac{1,36}{-}$	-	-
MgCO <sub>3</sub>	-92,5	$\frac{-20,4}{41,1}$	$\frac{-35,8}{99,8}$	$\frac{-1978}{-1916}$	$\frac{-2052,9}{-1913,3}$	$\frac{-1956,1}{-141,7}$	$\frac{-2030,0}{33,0}$	$\frac{142,7}{610,1}$	$\frac{165,8}{636,9}$	-	-
MgSO <sub>4</sub> **	1915,7	$\frac{1957,3}{-}$	$\frac{2012,1}{-}$	-	-	$\frac{21,6}{-}$	$\frac{23,0}{-}$	$\frac{1955,8}{-}$	$\frac{1434,4}{-}$	-	-
CuCO <sub>3</sub>	680,5	$\frac{-173,9}{-}$	$\frac{-226,5}{-}$	$\frac{-177,0}{-}$	$\frac{-226,6}{-}$	$\frac{-1053}{-}$	$\frac{-1144,8}{-}$	$\frac{19,5}{-}$	$\frac{890,9}{-}$	$\frac{5018,9}{-}$	$\frac{5188,9}{-}$
CuSO <sub>4</sub>	-45,2	$\frac{3,1}{-35,4}$	$\frac{-2,7}{99,9}$	-	-	$\frac{-888,7}{-823,5}$	$\frac{-1013,7}{-756,5}$	$\frac{1,7}{276,5}$	$\frac{106,5}{-300,6}$	-	-
CaCO <sub>3</sub>	148,7	$\frac{-54,1}{-}$	$\frac{-100,8}{-}$	$\frac{-128,0}{-}$	$\frac{-148,2}{-}$	$\frac{-85,7}{-}$	$\frac{-247,6}{-}$	$\frac{109,3}{-}$	$\frac{101,3}{-}$	$\frac{1850,0}{-}$	$\frac{1905,3}{-}$
CaSO <sub>4</sub>	184,0	$\frac{73,9}{-}$	$\frac{47,4}{-}$	-	-	$\frac{42,4}{-}$	$\frac{43,2}{-}$	$\frac{72,5}{-}$	$\frac{153,8}{-}$	-	-
ZnCO <sub>3</sub>	-97,2	$\frac{-81,0}{-16,8}$	$\frac{-113,1}{-25,9}$	$\frac{-85,9}{-20,5}$	$\frac{-73,9}{14,6}$	$\frac{-1934}{-1869}$	$\frac{-1981,6}{-1893,0}$	$\frac{82,4}{217,7}$	$\frac{89,0}{-522,8}$	$\frac{1892,1}{1895,7}$	$\frac{-1979,6}{1932,0}$
ZnSO <sub>4</sub>	22,8	$\frac{4,9}{-}$	$\frac{-39,5}{-}$	-	-	$\frac{-1848}{-}$	$\frac{-1907,9}{-}$	$\frac{3,5}{-}$	$\frac{67,2}{-}$	-	-
BaCO <sub>3</sub>	207,9	$\frac{-129,8}{-}$	$\frac{-192,6}{-}$	$\frac{-174,7}{-}$	$\frac{-136,5}{-}$	$\frac{-144,7}{-}$	$\frac{-75,1}{-}$	$\frac{33,6}{-}$	$\frac{-15,9}{-}$	$\frac{1803,3}{-}$	$\frac{1916,9}{-}$
PbCO <sub>3</sub>	-66,8	$\frac{-158,3}{-63,8}$	$\frac{-167,3}{-25,0}$	$\frac{-158,3}{-63,9}$	$\frac{-188,0}{-48,7}$	$\frac{-131,9}{-37,5}$	$\frac{-166,9}{-27,6}$	$\frac{34,7}{169,5}$	$\frac{69,9}{-474,9}$	$\frac{5037,1}{1852,3}$	$\frac{5086,8}{1868,7}$
PbSO <sub>4</sub>	77,4	$\frac{0,1}{-}$	$\frac{23,7}{-}$	-	-	$\frac{26,4}{-}$	$\frac{21,1}{-}$	$\frac{-1,4}{-}$	$\frac{131,0}{-}$	-	-
MnCO <sub>3</sub>	49,2	$\frac{-51,0}{-}$	$\frac{-72,6}{-}$	$\frac{-85,5}{-}$	$\frac{-152,5}{-}$	$\frac{-29,2}{-}$	$\frac{-93,7}{-}$	$\frac{112,4}{-}$	$\frac{392,4}{-}$	$\frac{1892,4}{-}$	$\frac{2163,7}{-}$
MnSO <sub>4</sub> **	93,3	$\frac{34,6}{-}$	$\frac{80,0}{-}$	-	-	$\frac{56,3}{-}$	$\frac{58,8}{-}$	$\frac{33,1}{-}$	$\frac{186,4}{-}$	-	-
FeCO <sub>3</sub>	-10,6	$\frac{-69,5}{-47,0}$	$\frac{-87,8}{-200,6}$	$\frac{-85,1}{-62,5}$	$\frac{-113,5}{-226,3}$	$\frac{-2993}{-2971}$	$\frac{-3024,0}{-3136,8}$	$\frac{93,8}{186,3}$	$\frac{114,4}{-650,5}$	$\frac{1892,9}{1853,7}$	$\frac{1940,0}{1688,7}$
FeSO <sub>4</sub>	61,4	$\frac{15,6}{-}$	$\frac{25,7}{-}$	-	-	$\frac{-2908}{-}$	$\frac{-2910,5}{-}$	$\frac{14,1}{-}$	$\frac{132,1}{-}$	-	-

Примечания: числитель – значение изобарно-изотермического потенциала для реакции наполнителя с агрессивной эксплуатационной средой; знаменатель – то же для реакции образующихся сульфидов с агрессивной эксплуатационной средой; \* – значения термодинамических величин взяты из справочной литературы [5...7]; \*\* – применение наполнителя возможно только после экспериментальной проверки в разбавленных растворах указанных минеральных солей и солей.

Из таблицы видно, что для получения серных композиционных материалов, работающих в условиях воздействия минеральных кислот и солей, целесообразно использовать кварцсодержащие природные наполнители, такие, как диабаз, опоку, кварцевый песок, андезит и др., кроме этого – сульфаты натрия, калия, магния, кальция и марганца. Как показали расчеты, указанные соединения инертны к действию серы и агрессивных эксплуатационных сред,  $\Delta G > 0$ . Однако следует отметить тот факт, что  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{K}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{MgSO}_4$  и  $\text{MnSO}_4$  по таблице растворимости в воде относятся к растворимым соединениям, следовательно, их применение возможно только после экспериментальной проверки в разбавленных растворах минеральных кислот и солей.

### Список литературы

1. Антонов, А.В. Системный анализ / А.В. Антонов. – М.: Высшая школа, 2004. – 454 с.
2. Баженов, Ю.М. Системный анализ в строительном материаловедении / Ю.М. Баженов, И.А. Гарькина, А.М. Данилов, Е.В. Королев. – М.: Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, 2012. – 152 с.
3. Данилов, А.М. Системные свойства композитов / А.М. Данилов, И.А. Гарькина // Вестник ПГУАС: строительство, наука и образование. – 2017. – №1(4). – С. 84–87.
4. Стромберг, А.Г. Физическая химия / А.Г. Стромберг, Д.П. Семченко. – М.: Высшая школа, 1999. – 527 с.
5. Карапетьянц, М.Х. Основные термодинамические константы неорганических и органических веществ / М.Х. Карапетьянц, М.Л. Карапетьянц. – М.: Ленанд, 2019. – 472 с.
6. Рабинович, В.А. Краткий химический справочник / В.А. Рабинович, З.Я. Хавин. – СПб.: Химия, 1991. – 432 с.
7. Равдель, А.А. Краткий справочник физико-химических величин / А.А. Равдель, А.М. Пономарева. – СПб.: Специальная Литература, 1998. – 232 с.

### References

1. Antonov, A.V. System analysis / A.V. Antonov. – M.: Higher School, 2004. – 454 p.
2. Bazhenov, Yu.M. System analysis in building materials science / Yu.M. Bazhenov, I.A. Garkina, A.M. Danilov, E.V. Korolev. – M.: National Research Moscow State University of Civil Engineering, 2012. – 152 p.
3. Danilov, A.M. System properties of composites / A.M. Danilov, I.A. Garkin // Vestnik PGUAS: construction, science and education. – 2017. – No. 1(4). – P. 84–87.
4. Stromberg, A.G. Physical Chemistry / A.G. Stromberg, D.P. Semchenko. – M.: Higher School, 1999. – 527 p.
5. Karapetyants, M.H. Basic thermodynamic constants of inorganic and organic substances / M.H. Karapetyants, M.L. Karapetyants. – M.: Lenand, 2019. – 472 p.
6. Rabinovich, V.A. Brief chemical reference / V.A. Rabinovich, Z.Ya. Havin. – SPb.: Chemistry, 1991. – 432 p.
7. Ravdel, A.A. Brief reference of physico-chemical quantities / A.A. Ravdel, A.M. Ponomareva. – SPb.: Special Literature, 1998. – 232 p.

---

# СТАНДАРТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ

## STANDARDIZATION AND QUALITY MANAGEMENT

УДК 339.1

*Пензенский государственный университет  
архитектуры и строительства*

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

**Жегера Кристина Владимировна**,  
кандидат технических наук, доцент кафедры  
«Управление качеством и технология  
строительного производства»  
E-mail: jegera@yandex.ru

**Трошев Дмитрий Владимирович**,  
студент  
E-mail: troschev@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

**Zhegera Kristina Vladimirovna**,  
Candidate of Sciences, Associate Professor of the  
Department «Quality management and  
construction technologies»  
E-mail: jegera@yandex.ru

**Troshev Dmitry Vladimirovich**,  
Student  
E-mail: troschev@yandex.ru

### ОЦЕНКА КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ ШКАФОВ СУШИЛЬНЫХ ДЛЯ ОВОЩЕЙ И ФРУКТОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЭЛЕМЕНТОВ ФУНКЦИОНАЛЬНО-СТОИМОСТНОГО АНАЛИЗА

К.В. Жегера, Д.В. Трошев

Проведена оценка конкурентоспособности предприятий по производству шкафов сушильных для овощей и фруктов с применением элементов функционально-стоимостного анализа. Анализ предприятий проводился по нескольким наиболее значимым, по мнению покупателей, характеристикам. Полученные в ходе исследования данные позволили определить наиболее конкурентоспособное изделие.

*Ключевые слова: конкурентоспособность, функционально-стоимостный анализ, ФСА, шкаф сушильный для овощей и фруктов, комплексный приоритет*

### ASSESSMENT OF THE COMPETITIVENESS OF DRYING CABINETS FOR VEGETABLES AND FRUITS USING ELEMENTS OF FUNCTIONAL COST ANALYSIS

K.V. Zhegera, D.V. Troshev

The article evaluates the competitiveness of enterprises producing dryers for vegetables and fruits using elements of functional cost analysis. The analysis of enterprises was carried out according to several most significant, in the opinion of buyers, characteristics. The data obtained during the study made it possible to determine the most competitive enterprise.

*Keywords: competitiveness, functional and cost analysis, FSA, drying cabinet for vegetables and fruits, integrated priority*

## Введение

В последнее время все большую популярность приобретает процесс заготовки фруктов и овощей путем сушки. Среди очевидных плюсов использования сушеных овощей – увеличение их срока годности.

Объем рынка шкафов сушильных для фруктов и овощей растет в России с каждым годом, так, в 2022 г. он составил 1 512 шт. (рис. 1).

На российском рынке представлены шкафы сушильные различных производителей, отличающиеся по типу нагрева, расположению лотков, мощности, наличию терморегулятора, стоимости и т.п. В связи с этим для производителей актуальным является вопрос привлечения покупателей за счет повышения конкурентоспособности продукции предприятия [1–4].

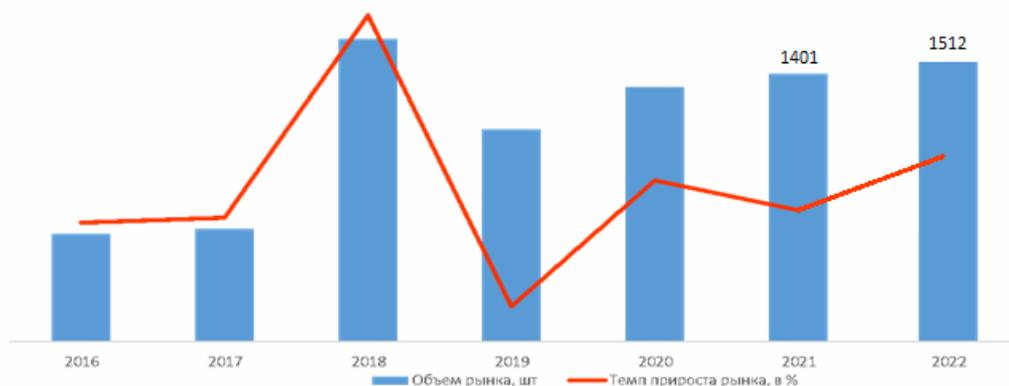


Рис. 1. Объем и темпы прироста рынка шкафов сушильных для фруктов и овощей в России в 2016–2022 гг., шт (источник: расчеты Discovery Research Group)

Одним из методов, применяемых при анализе конкурентоспособности продукции и предприятия, является функционально-стоимостный анализ (ФСА) [5, 6].

Рассмотрим особенности использования элементов функционально-стоимостного анализа при оценке конкурентоспособности предприятия. Для этого составим методику проведения анализа.

### Методика

Методология ФСА позволяет определять наиболее объективный показатель конкурентоспособности продукции – соотношение цены и качества – и сопоставлять его с показателями конкурентов.

Основным критерием конкурентоспособности объекта с позиции ФСА является его потребительная стоимость, определяемая соотношением качества (полезности) объекта и затрат потребителя.

Проведение анализа осуществляется в следующем порядке:

1. Выбор основных конкурентов.
2. Выбор исследуемых характеристик, их краткое описание.
3. Вычисление значимости рассматриваемых характеристик по формулам (1)–(3) с занесением полученных данных в таблицу:

$$a_i = \sum x_i, \quad (1)$$

где  $x_i$  – значение в строчке;

$$P_{\text{абс}} = \sum x_i \cdot a_j, \quad (2)$$

где  $x_i$  – значение в строчке;  $a_j$  – значение столбца  $a_i$ ;

$$P_{\text{отн}} = \frac{P_{\text{абс}}}{\sum P_{\text{абс}}}. \quad (3)$$

4. Сравнение предприятий-конкурентов по каждой из рассматриваемых характеристик.

5. Составление обещающей таблицы, расчет комплексного приоритета:

$$КП_{\text{предпр}} = \sum КП_i, \quad (4)$$

где  $КП_i$  – значение комплексного приоритета в строке.

6. Расчет интегрального показателя качества:

$$Q_{\text{предпр}} = \frac{КП_{\text{предпр}}}{\text{стоимость изделия}}. \quad (5)$$

7. Анализ полученных данных. Составление выводов.

### Теоретический анализ

Рассмотрим применение элементов функционально-стоимостного анализа при оценке конкурентоспособности шкафа сушильного для овощей и фруктов. В качестве объекта исследования выбраны предприятия, продукция которых наиболее часто встречается на рынках г. Пензы: АО «Радиозавод» (Россия, г. Пенза), Gemlux (Китай, г. Фошан) и Profi Cook (Германия, г. Кемпен).

В качестве основных критериев выбраны характеристики, приведенные в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

Характеристики конкурентоспособности

Предприятие	Характеристики	Значение характеристики
АО «Радиозавод», Россия, г.Пенза	Потребляемая мощность Температура в зоне сушки Время сушки Количество режимов сушки Объем загружаемой продукции Масса шкафа Количество цветов Стоимость	$\leq 0,8$ кВт/ч $+40+70^0$ С 1,5-12ч 5 $\leq 4$ кг (17л) $\leq 14$ кг 4 12 890 руб.
Gemlux, Китай, г. Фошан	Потребляемая мощность Температура в зоне сушки Время сушки Количество режимов сушки Объем загружаемой продукции Масса шкафа Количество цветов Стоимость	$\leq 0,50$ кВт/ч $+35+70^0$ С 1-16ч 4 $\leq 12$ л $\leq 6,3$ кг 1 12 057 руб.
Profi Cook (Профи Кук), Германия, г.Кемпен	Потребляемая мощность Температура в зоне сушки Время сушки Количество режимов сушки Объем загружаемой продукции Масса шкафа Количество цветов Стоимость	$\leq 0,35$ кВт/ч $+40+70^0$ С 2-21ч 7 $\leq 8$ л $\leq 1,9$ кг 2 11 162 руб.

Составим матрицу смежности параметров (табл. 2).

Матрица смежности параметров

	Потребляемая мощность	Температура в зоне сушки	Время сушки	Количество режимов сушки	Объем загружаемой продукции	Масса шкафа	Количество цветов	$a_i$	$P_{абс}$	$P_{отн}$
Потребляемая мощность	1,0	0,5	0,5	0,5	1,5	1,5	1,5	7	44	0,14
Температура в зоне сушки	1,5	1,0	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	10	68,5	0,21
Время сушки	1,5	0,5	1,0	1,0	1,0	1,5	1,5	8	52	0,16
Количество режимов	1,5	0,5	1,0	1,0	1,0	1,5	1,5	8	52	0,16
Объем загр.прод.	0,5	0,5	1,0	1,0	1,0	1,5	1,5	7	45	0,14
Масса шкафа	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	1,0	1,5	5	31	0,10
Количество цветов	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	1,0	4	26,5	0,08

Проведем сравнение предприятий-конкурентов по каждой исследуемой характеристике (табл. 3).

Таблица 3

Результаты анализа предприятий по характеристикам

	АО «Радиозавод»	Gemlux	Profi Cook	$a_i$	$P_{абс}$	$P_{отн}$
1	2	3	4	5	6	7
Потребляемая мощность						
АО «Радиозавод»	1,0	1,5	1,5	4	11,5	0,46
Gemlux	0,5	1,0	1,5	3	8	0,32
Profi Cook	0,5	0,5	1,0	2	5,5	0,22
Температура в зоне сушки						
АО «Радиозавод»	1,0	0,5	1,0	2,5	7	0,27
Gemlux	1,5	1,0	1,5	4	11,5	0,46
Profi Cook	1,0	0,5	1,0	2,5	7	0,27
Время сушки						
АО «Радиозавод»	1,0	1,5	1,5	4	11,5	0,46
Gemlux	0,5	1,0	1,5	3	8	0,32
Profi Cook	0,5	0,5	1,0	2	5,5	0,22
Количество режимов сушки						
АО «Радиозавод»	1,0	1,5	0,5	3	8	0,32
Gemlux	0,5	1,0	0,5	2	5,5	0,22
Profi Cook	1,5	1,5	1,0	4	11,5	0,46
Объем загружаемой продукции						
АО «Радиозавод»	1,0	1,5	1,5	4	11,5	0,46
Gemlux	0,5	1,0	1,5	3	8	0,32
Profi Cook	0,5	0,5	1,0	2	5,5	0,22
Масса шкафа						
АО «Радиозавод»	1,0	0,5	0,5	2	5,5	0,22
Gemlux	1,5	1,0	0,5	3	8	0,32

1	2	3	4	5	6	7
Profi Cook	1,5	1,5	1,0	4	11,5	0,46
Количество цветов						
АО «Радиозавод»	1,0	1,5	1,5	4	11,5	0,46
Gemlux	0,5	1,0	0,5	2	5,5	0,22
Profi Cook	0,5	1,5	1,0	3	8	0,32

Рассчитаем комплексный приоритет для каждого предприятия. Результаты расчета представлены в табл. 4.

Т а б л и ц а 4

## Комплексный приоритет предприятия

Характеристики	Потребляемая мощность	Температура в зоне сушки	Время сушки	Количество режимов сушки	Объем загружаемой продукции	Масса шкафа	Количество цветов	Итого
Предприятия								
АО «Радиозавод»	0,46	0,27	0,46	0,32	0,46	0,22	0,46	
Gemlux	0,32	0,46	0,32	0,22	0,32	0,32	0,22	
Profi Cook	0,22	0,27	0,22	0,46	0,22	0,46	0,32	
Значимость характеристик	0,14	0,21	0,16	0,16	0,14	0,10	0,08	
Комплексный приоритет АО «Радиозавод»	0,0644	0,0567	0,0736	0,0512	0,0644	0,022	0,0368	0,3691
Комплексный приоритет Gemlux	0,0448	0,0966	0,0512	0,0352	0,0448	0,032	0,0176	0,3222
Комплексный приоритет Profi Cook	0,0308	0,0567	0,0352	0,0736	0,0308	0,046	0,0256	0,2987

## Результаты

Анализ значимости комплексного приоритета показал, что продукция производителей располагается следующим образом:

$$\text{Profi Cook} < \text{Gemlux} < \text{АО «Радиозавод»},$$

то есть наиболее конкурентоспособным является предприятие АО «Радиозавод», г. Пенза.

Отнесем комплексный приоритет к единице стоимости:

$$Q_{\text{АО «Радиозавод»}} = \frac{0,3691}{12890} = 2,86346 \cdot 10^{-5};$$

$$Q_{\text{Gemlux}} = \frac{0,3222}{12057} = 2,67231 \cdot 10^{-5};$$

$$Q_{\text{Profi Cook}} = \frac{0,2987}{11062} = 2,70024 \cdot 10^{-5}.$$

Таким образом, при соотношении «цена-качество» неравенство изменилось:

$$\text{Gemlux} < \text{Profi Cook} < \text{АО «Радиозавод»}.$$

---

Анализ полученных результатов показал, что наиболее конкурентоспособным шкафом сушильным для овощей и фруктов по рассматриваемым характеристикам является изделие, выпускаемое АО «Радиозавод», г. Пенза.

Таким образом, предложенная в работе методика является эффективной при проведении анализа конкурентоспособности предприятия.

### Список литературы

1. Лукманова, И.Г. Клиентоориентированность предприятия – важнейший резерв повышения конкурентоспособности / И.Г. Лукманова, В.И. Сарченко, Е.Е. Ладыгина // Экономика строительства. – 2020. – № 3 (63). – С.24–32.
2. Петрушова, А.П. Оценка уровня качества и конкурентоспособности продукции методом многокритериальной оптимизации (на примере СПК «МОЛОЧКИНО») / А.П. Петрушова, Л.В. Макарова // Образование и наука в современном мире. Инновации. – 2020. – № 4 (29). – С. 192–198.
3. Егоров, А.С. Конкуренция и конкурентоспособность предприятий в 2020-2021 годах / А.С. Егоров // Российский экономический барометр. – 2021. – №3 (83). – С. 3–16.
4. Болатхан, З.Р. Приоритетные направления конкурентоспособности современного предприятия / З.Р. Болатхан // Вестник науки. – 2020. – №2(23). – С. 21–24.
5. Жегера, К.В. Оценка конкурентоспособности предприятия ЗАО «Пензенская кондитерская фабрика» с использованием ФСА-анализа / К.В. Жегера, Е.А. Самигулина // E-SCIO. – 2021. – №3(54). – С. 545–551.
6. Аглиуллина, Д.Р. Основные этапы функционально-стоимостного анализа / Д.Р. Аглиуллина // Вестник науки. – 2020. – Т.1, № 6 (27). – С. 44–47.

### References

1. Lukmanova, I.G. Customer orientation of the enterprise is the most important reserve for increasing competitiveness / I.G. Lukmanova, V.I. Sarchenko, E.E. Ladygina // Economics of construction. – 2020. – № 3 (63). – P.24–32.
2. Petrushova, A.P. Assessment of the level of quality and competitiveness of products by the method of multi-criteria optimization (on the example of SEC «MOLOCHKINO») / A.P. Petrushova, L.V. Makarova // Education and science in the modern world. Innovation. – 2020. – № 4 (29). – P. 192–198.
3. Egorov, A.S. Competition and competitiveness of enterprises in 2020-2021 / A.S. Egorov // Russian Economic barometer. – 2021. – №3 (83). – P. 3–16.
4. Bolatkhan, Z.R. Priority directions of competitiveness of a modern enterprise / Z.R. Bolatkhan // Bulletin of Science. – 2020. – №2(23). – P. 21–24.
5. Zhegera, K.V. Assessment of the competitiveness of the enterprise CJSC Penza Confectionery Factory using FSA analysis / K.V. Zhegera, E.A. Samigulina // E-SCIO. – 2021. – №3(54). – P. 545–551.
6. Agliullina, D.R. The main stages of functional and cost analysis / D.R. Agliullina // Bulletin of Science. – 2020. – Vol.1, № 6 (27). – P. 44–47.

Пензенский государственный университет  
архитектуры и строительства

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

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

**Филонова Юлия Борисовна,**  
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

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

**Filonova Yulia Borisovna**  
Student

## ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИННОВАЦИОННОГО ПОТЕНЦИАЛА ОРГАНИЗАЦИИ ИТ-ОТРАСЛИ

Л.В. Макарова, Ю.Б. Филонова

Предложена процедура оценки инновационного потенциала организации. Разработаны рекомендации по повышению эффективности использования инновационного потенциала организации на примере научного производственного предприятия, осуществляющего деятельность в сфере информационных технологий.

*Ключевые слова: оценка эффективности инновационного потенциала, инновационная деятельность, НИОКР, информационные технологии*

## ASSESSMENT OF THE EFFICIENCY OF USE OF THE INNOVATIVE POTENTIAL OF THE ORGANIZATION IT INDUSTRIES

L.V. Makarova, Y.B. Filonova

A procedure for assessing the innovative potential of an organization is proposed. Recommendations have been developed to improve the efficiency of using the innovative potential of an organization on the example of a scientific production enterprise operating in the field of information technology.

*Keywords: evaluation of the effectiveness of innovation potential, innovation activity, R&D, information technology*

Сфера информационных технологий считается одной из наиболее перспективных для развития бизнеса, в связи с этим число ИТ-компаний неуклонно растет.

Характерной чертой всех сегментов ИТ-отрасли является динамичность инновационных процессов [1]. Целенаправленное развитие инновационной деятельности дает возможность предприятию занять лидирующие позиции на рынке и увеличить доход [2, 3]. Для эффективного осуществления инновационной деятельности необходимо своевременно проводить мониторинг ресурсов и потенциала предприятия, а также возможности их использования для достижения поставленных задач.

Инновационный потенциал состоит из совокупности отдельных элементов, каждый из которых оказывает влияние на результирующий признак [4]. Величина инновационного потенциала позволяет оценить возможности инновационной деятельности предприятия и определить направление развития в стратегическом плане.

Для оценки эффективности использования инновационного потенциала предлагаются следующие критерии [5]:

– количество сотрудников, задействованных в научно-исследовательских и опытно-конструкторских работах;

- внедрение и освоение новой техники;
- освоение новой продукции;
- материальные ресурсы для НИОКР;
- обеспеченность интеллектуальной собственностью.

В табл. 1 даны формулы расчета показателей инновационного потенциала предприятия, предложенные Щекотуровой С.Д. [5].

Т а б л и ц а 1

Расчет показателей инновационного потенциала предприятия

№ п/п	Показатель	Формула
1	Сотрудники, задействованные в НИОКР	$P_1 = \frac{\text{Численность сотрудников, задействованных в НИОКР, чел.}}{\text{Общая численность сотрудников предприятия, чел.}}$
2	Внедрение и освоение новой техники	$P_2 = \frac{\text{Основные средства (введенные в текущем году) тыс. руб.}}{\text{Основные средства – всего, тыс. руб.}}$
3	Освоение новой продукции	$P_3 = \frac{\text{Выручка от продажи новой продукции, тыс. руб.}}{\text{Общая выручка от продажи всей продукции, тыс. руб.}}$
4	Материальные ресурсы для НИОКР	$P_4 = \frac{\text{Стоимость материальных ресурсов для НИОКР, тыс. руб.}}{\text{Общая стоимость материальных ресурсов, тыс. руб.}}$
5	Обеспеченность интеллектуальной собственностью	$P_5 = \frac{\text{Введенные нематериальные активы (в текущем году), тыс. руб.}}{\text{Нематериальные активы – всего, тыс. руб.}}$

Проведем оценку эффективности использования инновационного потенциала на примере научного производственного предприятия сферы информационных технологий, осуществляющего работы по изготовлению программных аппаратных комплексов и разработке программного обеспечения.

В табл. 2 представлены исходные данные для оценки эффективности использования инновационного потенциала научного производственного предприятия за 2021 г. и 2022 г.

Т а б л и ц а 2

Исходные данные для оценки инновационного потенциала

№ п/п	Показатель	Значение	
		2021 г.	2022 г.
1	Численность сотрудников, задействованных в НИОКР, чел.	18	18
2	Общая численность сотрудников предприятия, чел.	28	25
3	Основные средства (введенные в текущем году), использованные на освоение новой техники, тыс. руб.	188	350
4	Основные средства – всего, тыс. руб.	522	872
5	Выручка от продажи новой продукции, тыс. руб.	9 386,2	14 757,6
6	Общая выручка от продажи всей продукции, тыс. руб.	13 220	17 160
7	Стоимость материальных ресурсов для НИОКР, тыс. руб.	750	1296
8	Общая стоимость материальных ресурсов, тыс. руб.	1500	2796
9	Введенные нематериальные активы (в текущем году), тыс. руб.	3811	5427
10	Нематериальные активы – всего, тыс. руб.	28050	32477

Фактические значения полученных критериев и результаты оценки уровня инновационного потенциала предприятия за рассматриваемый период по методу А.А. Трифиловой [6] приведены в табл. 3.

Т а б л и ц а 3

Оценка уровня инновационного потенциала предприятия

№ п/п	Наименование показателя	Диапазон значений показателя	Уровень инновационного потенциала	Фактическое значение критерия	
				2021 г.	2022 г.
1	Сотрудники, задействованные в НИОКР	$\geq 0,6$	высокий	0,64 высокий	0,72 высокий
		[0,45-0,6)	средний		
		[0,3-0,45)	низкий		
2	Внедрение и освоение новой техники	$\geq 0,45$	высокий	0,36 средний	0,4 средний
		[0,35-0,45)	средний		
		[0,25-0,35)	низкий		
3	Освоение новой продукции	$\geq 0,45$	высокий	0,71 высокий	0,86 высокий
		[0,25-0,45)	низкий		
4	Материальные ресурсы для НИОКР	$\geq 0,55$	высокий	0,5 средний	0,46 средний
		[0,45-0,55)	средний		
		[0,4-0,45)	низкий		
5	Обеспеченность интеллектуальной собственностью	$\geq 0,1$	высокий	0,14 высокий	0,17 высокий
		$< 0,1$	низкий		

Для расчёта обобщенного показателя инновационного потенциала предприятия ( $Q_i$ ) предлагается использовать взвешенную арифметическую функцию оценивания:

$$Q_i = \sum_{i=1}^n K_i M_i, \quad (1)$$

где  $K_i$  – установленное или фактическое значение критерия (показателя) инновационного потенциала предприятия;  $M_i$  – коэффициент весомости критерия.

Для определения коэффициентов весомости рассматриваемых критериев был применен метод экспертной оценки. Экспертную группу составили шесть специалистов высокой квалификации, каждый из которых произвел ранжирование предлагаемых критериев. Результаты расчёта представлены в табл. 4.

Т а б л и ц а 4

Результаты экспертного опроса

№ п/п	Эксперты						Сумма рангов $\sum_{i=1}^6 X_i$	Отклонение от среднего значения, $\Delta X_i$	$\Delta X_i^2$	$M_i$
	1	2	3	4	5	6				
1	5	4,5	4	4,5	5	5	28	10	100	0,31
2	4	4,5	4	4,5	2,5	4	23,5	5,5	30,25	0,26
3	1,5	1,5	1,5	2,5	2,5	1,5	11	-7	49	0,12
4	1,5	1,5	1,5	1	1	1,5	8	-10	100	0,09
5	3	3	4	2,5	4	3	19,5	1,5	2,25	0,22
	$\Sigma$						90		281,5	
$T_j$	6	12	36	12	6	6				

Для оценки согласованности мнений экспертов был рассчитан коэффициент конкордации:

$$\omega = \frac{12S}{n^2(m^3 - m) - n \sum_{j=1}^6 T_j}, \quad (2)$$

где  $n$  – число экспертов;  $m$  – количество показателей качества;  $S$  – сумма квадратов отклонений;

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

здесь  $t_j$  – число одинаковых рангов в  $j$ -м ранжировании.

$$\omega = \frac{12 \cdot 281,5}{6^2(5^3 - 5) - 6(6 + 12 + 36 + 12 + 6 + 6)} = 0,88.$$

Полученное значение коэффициента конкордации ( $\omega=0,88$ ) свидетельствует о высокой согласованности мнений экспертов и соответствует лингвистической оценке «очень хорошо». Это позволяет использовать значения коэффициентов весомости для дальнейших расчётов.

Был произведён расчёт обобщенных показателей инновационного потенциала предприятия за 2021 г. и 2022 г. с использованием фактических значений критериев, представленных в табл. 3, и соответствующих значений коэффициентов весомости:

а) значение обобщенного показателя за 2021 г.:

$$Q_i = 0,45;$$

б) значение обобщенного показателя за 2022 г.:

$$Q_i = 0,51.$$

Таким образом, значение обобщенного показателя в 2022 году увеличилось на 6 %. В соответствии с вербально-числовой шкалой Харрингтона значения интегрального показателя инновационного потенциала организации за 2021-й и 2022 годы соответствует среднему уровню.

Для поддержания и улучшения показателей эффективного использования инновационного потенциала рассматриваемой организации предложены следующие рекомендации:

- привлекать к выполнению НИОКР большее количество специалистов, проводить ежегодное обучение/повышение квалификации сотрудников организации;
- стимулировать разработки новой продукции и процессов;
- активизировать внедрение новых технологий и техники в рабочий процесс;
- увеличивать освоение новой продукции и ресурсов, направляемых на ее производство;
- повышать долю инвестиций в инновационные проекты.

Предлагаемый подход позволит достаточно объективно оценить внутренние возможности предприятия, характеризующиеся состоянием и уровнем его инновационного потенциала.

## Список литературы

1 Храмушина, В.А. Особенности инноваций в сфере ИТ-услуг / В.А. Храмушина // Новые импульсы развития: вопросы научных исследований. – 2020. – С. 171–179.

2 Самохин, С.В. Оценка инновационного потенциала предприятия / С.В. Самохин // Молодой ученый. – 2017. – № 28 (162). – С. 64–67. – URL: <https://moluch.ru/archive/162/45118/> (дата обращения: 26.03.2023).

3 Корокошко, Ю.В. Маркетинг-менеджмент как инструмент повышения конкурентоспособности современной компании/ Ю.В. Корокошко// Инновационная наука. – 2020. – № 5. – С. 97–98.

---

4 Устинова, Л.Н. Инновационный потенциал предприятия: сущность, структура, оценка/ Л.Н. Устинова, Р.М. Сиразетдинов // – Российское предпринимательство. - 2017. – Т. 18, № 23. – С. 3751–3764.

5 Щекотурова, С.Д. Совершенствование методов оценки уровня инновационного развития промышленных предприятий: автореф. дис. ... канд. экон. наук / С.Д. Щекотурова. – СПб., 2017.

6 Трифилова, А.А. Управление инновационным развитием предприятия / А.А. Трифилова. – М.: Финансы и статистика, 2013. – 176 с.

### References

1. Khramushina V.A. Features of innovations in the field of IT services / V.A. Khramushina // New impulses for development: issues of scientific research. – 2020. – P. 171–179.

2. Samokhin, S.V. Evaluation of the innovative potential of the enterprise / S.V. Samokhin // Young scientist. – 2017. – No. 28 (162). – P. 64–67. – URL: <https://moluch.ru/archive/162/45118/> (date of access: 03/26/2023).

3. Korokoshko, Yu.V. Marketing management as a tool to improve the competitiveness of a modern company / Yu.V. Korokoshko // Innovative science. – 2020. – No. 5. – P. 97–98.

4. Ustinova, L.N. Innovative potential of the enterprise: essence, structure, assessment / L.N. Ustinova, R.M. Sirazetdinov. – Russian entrepreneurship. – 2017. – Vol. 18, No. 23. – P. 3751–3764.

5. Shchekoturova, S.D. Improvement of methods for assessing the level of innovative development of industrial enterprises: Abstract of the thesis. Candidate of Economic Sciences / S.D. Shchekoturova. – St. Petersburg, 2017.

6. Trifilova, A.A. Management of innovative development of the enterprise / A.A. Trifilova. – М.: Finance and statistics, 2013. – 176 p.

---

# ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

## PEDAGOGICAL SCIENCES

УДК37.016:81'24/'37

*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

**Каргина Елена Михайловна**,  
кандидат педагогических наук,  
доцент кафедры «Иностранные языки»  
E-mail: kargina-elena@mail.ru

**Стешин Кирилл Михайлович**,  
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

**Kargina Elena Mikhailovna**,  
Candidate of Science, Associate Professor of the  
department «Foreign Languages»  
E-mail: kargina-elena@mail.ru

**Steshin Kirill Mikhailovich**,  
Student

### АНАЛИЗ МЕХАНИЗМОВ ЛЕКСИКАЛИЗАЦИИ ЯЗЫКОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ РАЗНЫХ УРОВНЕЙ В ПРОЦЕССЕ ИЗУЧЕНИЯ ИНОСТРАННОГО ЯЗЫКА

Е.М. Каргина, К.М. Стешин

Представлен анализ механизмов лексикализации языковых элементов разных уровней в процессе изучения иностранного языка. Дано определение термина «лексикализация»; обосновано его отличие от типового регулярного словообразования. Приведены примеры явлений лексикализации в немецком и русском языках.

*Ключевые слова: лексикализация, языковой элемент, словообразование, словообразовательные морфемы, семантизация, изучение иностранного языка*

### ANALYSIS OF LEXICALIZATION MECHANISMS OF LANGUAGE ELEMENTS OF DIFFERENT LEVELS IN THE PROCESS OF LEARNING A FOREIGN LANGUAGE

Е.М. Kargina, К.М. Steshin

The analysis of lexicalization mechanisms of language elements of different levels in the process of learning a foreign language is presented. The definition of the term «lexicalization» is given; its difference from the typical regular word formation is substantiated. Examples of lexicalization phenomena in German and Russian are given.

*Keywords: lexicalization, language element, word formation, word-forming morphemes, semantization, learning a foreign language*

Проблема явления лексикализации языковых элементов разных уровней, будучи обусловленной рядом как объективных, так и субъективных причин, вызывает постоянный интерес лингвистов, педагогов и психологов (В.В. Виноградов [1], В.В. Лопатин [2], Е.Б. Яковлева [3] и др.). Рассмотрение данной проблемы находит отражение в работах исследователей в следующих концептах: «лексикализация внутренней формы слова» (Е.В. Михалева [4]), «лексикализация синтагматических рядов» (Е.Б. Яковлева [3]), «лексикализация форм множественного числа» (С.В. Пивоварова

---

[5]), «лексикализация форм числа существительных» (Л.А. Новиков [6]), «лексикализация фонетических явлений» (О.Д. Кузнецова [7]) и др.

Анализ представленных исследований позволяет дать следующее определение термина «лексикализация»: процесс превращения в слово единицы другого (несловесного) уровня или иного явления, лежащего за пределами словообразовательного арсенала. Процесс, который описывается в рамках словообразования, является обычно созданием нового слова на базе существующего слова как единицы системы языка. При аффиксации префиксы и суффиксы присоединяются к слову. При словосложении соединяются либо слова, либо слова и морфемы, извлеченные из готового слова. Иначе говоря, при типовом регулярном словообразовании «родителями» слова выступают слова, а при лексикализации роль «прародителей» или «прапрародителей» играют слова, тогда как «родителями» будут либо элементы несловесного уровня, либо явления иного порядка.

Лексикализация связана с изменением статуса морфемы, словоформы, связанного корня, словосочетания, предложения, компонента фразеологизма и приданием им характера слова. Кроме того, лексикализацию можно усматривать в процессе звукоподражания, паронимического словообразования и семантизации букв. Проиллюстрируем это на примерах.

Словообразовательные морфемы, генетически восходящие, как известно, к самостоятельным словам, в свою очередь, могут вновь обретать положение слова. Это и суффиксы *-ismus*, *-zig*, и префиксы (префиксоиды) *Ober-*, *Multi-*, *Contra-*, *Ultra-*, *Pro-*, *Maxi-*, *Mimi-*, *Extra-*, *super-*, *hyper-*, и другие элементы:

*Es fällt mir schwer, mich durch alle möglichen Ismen in diesem Buch durchzuarbeiten.*

*Zig Filme dieses Regisseurs habe ich mir angesehen, alles nicht weltbewegt.*

*Die Multis unternehmen einen neuen Angriff auf die Werktätigen.*

*Die Contras erlitten erneut eine Niederlage.*

*Der Pro ist nicht zu sprechen, hat mir die Sekretärin gesagt.*

*Die Extras werden bei diesem Wagen gesondert gerechnet.*

*Diese Briefmarke ist einfach super.*

В приведенных примерах в слова превратились служебные морфемы.

Новые слова могут появляться за счет изменения формы корневых морфем. В одних случаях в результате сокращения возникают такие сегменты основ, которые сами по себе не несут значения: *Lok* как контрактура слова *Lokomotive* означает локомотив, т.е. обретает права слова, тогда как в составе этого существительного его семантика неоднозначна и восстанавливается только в результате этимологического анализа. Если основная словообразовательная механика сводится к всевозможным операциям и комбинациям с имеющимися в языковой системе корневыми и словообразовательными морфемами, то при сокращении изменяются даже сами корни, т.е. нарушается принцип сохранности и неизблемости составляющих элементов, из которых строятся слова. *Mag* (магнитофон), *Alu* (*Aluminium*) – это уже деформированные, обновленные корни. Их соотнесенность с прототипами уменьшается. «*Mag*» в слове «магнит» ничего не значит, а как результат усечения слова «магнитофон» наследует семантику полного слова и превращается в его дублет, вариант. Со временем, как известно, сокращения могут вытеснить из употребления полную форму: *ЗАГС*, *МИТРОПА* и т.д.

Процесс усечения может нарушать целостность морфем, в результате чего «в остатке» будут лишь их части. Придание смысла этим, по сути дела, бессмысленным «отрезкам» является особым случаем семантизации и создания на ее базе слова: *Geschi* (школьный жаргонизм, который называет историю как учебный предмет), *Idi* (*Idiot*), *Imi* (*Imigriert*), *Lilo* (*Lieselotte*). Особенно неожиданно придание смысла асемантическим фрагментам морфем в виде отдельных звуков: *K* – *Kriminalpolizei*, *Q* – *Qualitätszeichen*; или при комбинированной аббревиации: *DEFA*; *Malimo*, *Dederon*.

Специфическим случаем нарушения регулярной аддитивности морфем оказывается контаминация, связанная с морфемными нарушениями: *Radio* + *Idiot* = *Radiot*,

---

Dollar + Amerika = Dollarika, Erdapfel + Kartoffel = Erdtöffel (um Magdeburg gebräuchlich).

Создается новое слово и из того остатка усечения, который сохраняет облик морфемы или слова и берет на себя семантику целого слова: Rad (Fahrrad), Schnitt (Durchschnitt), Alex (Alexanderplatz), das Bock (Bockbier) – примеры усеченного слова; Burg (Wiener Burgtheater), sehr (австр. школьн. sehr gut), Zoo (zoologischer Garten) – примеры усеченного словосочетания. Подобные явления представляют собой так называемое «включение». Омонимичность производного и соответствующего производящего элементов лишь подчеркивает автономность новообразования.

Типично применение термина «лексикализация» для обозначения транспозиции одной из нескольких грамматических словоформ в отдельное самостоятельное слово другой части речи. Например, форма множественного числа имени существительного перестает ощущаться как исчисляемое множество и переживает заметный семантический сдвиг: англ. – optics, acoustics, linguistics – названия наук, damages – возмещение убытков, colors – знамя, customs – пошлина, works – завод; нем. der Tropfen – капля, die Tropfen (Arznei) – капли, Süßigkeiten (das Süßsein) – Süßigkeiten – сладости; косвенная падежная форма abends – вечерами и др.

Лексикализируются формы сравнительной степени имени прилагательного: eine ältere Dame – пожилая, а не «более старая», дама; eine kleinere Stadt – небольшой город (хотя параллельное употребление со значением сравнения не исключено); инфинитивы das Schreiben, das Abkommen; причастия der Gesandte, während (Präp.), reizende Landschaft, fahrende Habe; отдельные инфинитивные формы – der Benimm (Betragen), der Schrieb (abschätzig für Brief), bitte (bitten); основы Besuch (besuchen), Versuch (versuchen).

Слияние (Kontraktion) в словосочетании слов, утративших самостоятельность, в одно слово приводит к опрошению: heute (hin + tag), neun (ni + ein), nicht (ni + wiht), Adler (edler ar), Nachtigall.

Стирание граней слов, восприятие того, что некогда было двумя словами, как чего-то одного, монолитного, демонстрирует специфическое взаимодействие составляющих в словообразовательном процессе [8]. Возможно образование слова и из конструкции с предикацией (или ее подобием): Habenichts, Gernegroß, Jelängerjelierer, Vergißmeinnicht. Это своеобразная транспозиция коммуникативной единицы, допустимой в роли высказывания, в номинативную. Особенно явно это выступает в субстантивации фраз:

Ihr «Ich-hab-dich-lieb» klang katzenfreundlich.

Das «Wer-kennt-denn-das-nicht?» war so typisch für diesen blasierten Kerl.

Nach dem «Lass-die-Kirche-im-Dorf» flötest du schon anders.

Это окказиональное словообразование свидетельствует о широких возможностях немецкого языка превращать в слово даже целое высказывание.

К лексикализации следует отнести и паронимическое словообразование, при котором в слово превращается сочетание звуков, наблюдавшееся ранее в языке и возникшее по ассоциации с какой-либо известной лексемой на основе звукового созвучия: *филолух*, *мерсикать*, *кого-либо мативировать*, *Mistiker*, *pillige Ausreden*, *Füßbiologie*.

Иногда ошибка легализуется и становится не только узуальной, но и признанной литературной нормой: тарелка (Teller), кафель (Kachel), шпаклевка (spateln). Подобные гиперкорректные и псевдоэтимологизированные слова следует отличать от обычной фонетической ассимиляции высокой степени: шумовка (Schaumlöffel), лобзик (Laubsäge), дуршлаг (Durchschlag).

Различные акустические явления, доступные человеческому слуху, передаются по-разному, в том числе и звукоподражательными словами. Прежде чем какие-либо имитируемые звуки станут словом, они проходят «фонемную обработку», т.е. приспосабливаются к тем членораздельным звукам, которые выработаны языком. В лингвистике принято называть звукоподражательными слова, построенные на звукоподражательных корнях, которые, в свою очередь, поступают в распоряжение словооб-

разования: quaken, krächzen, surren, Töfföff. Если остальные лексические единицы отображают действительность, то ономотопея изображает ее. В круг слов вводится нечто отличное от остального словарного фонда.

Примыкает к этому явлению и механизм, когда знак оказывается одновременно и означаемым. Это семантизация букв: осмысливается их написание, их облик. Например, когда рабочие меняют изгиб трубы, один из них говорит: «Wir biegen das S zum Z». Осмысление букв типично для словообразовательной структуры, внешне напоминающей частичные аббревиатуры: V-Ausschnitt, T-Balken, U-Fachwerk, J-Formstück, Z-Drehung.

Следует остановиться еще на одном моменте, связанном с превращением в слово того, что им не являлось. В составе фразеологизма компоненты служат аналогами слов. Это «псевдослова», поскольку семантически они несамостоятельны и лишь включены в создание целостного смысла идиомы, в то время как формально они ведут себя как слова. Наблюдается извлечение компонентов из фразеологизма и возвращение их с измененной семантикой в статус слова:

Er heiratet nicht aus Angst vor dem Pantoffel.

Schweig lieber, deinen Kohl habe ich über.

Hast du bei den Mädchen Erfolg gehabt? – Ach, lauter Körbe kassiert.

Среди многих типов словопроизводств в широком смысле слова необходимо обратить внимание на инакоплановые ресурсы. Вполне возможно, что понятие лексикализации не абсолютно необходимо, но оно уместно, когда требуется подчеркнуть «заем из смежных заказников».

Применение термина «лексикализация» возможно к тем формальным (например, морфологическим) явлениям, которые не проявляются регулярно, а ограничены определенной группой (закрытым списком) слов. Так, беглость гласной в корне ограничена в современном русском языке определенным списком слов (сон – сна, день – дня, лед – льда, но дом – дома, мед – меда). Применять данный термин одновременно к превращению некоторых элементов в слова и к наложению лексических ограничений на действие каких-то правил неправомерно.

Перечисленных фактов достаточно для иллюстрации появления слов из единиц другого уровня и иного порядка, чем при обычном строительном материале словообразовательного механизма. Так или иначе, все (или почти все) упомянутые факторы связаны с регулярным словообразованием, и поэтому лексикализацией является создание слова любым путем.

Таким образом, проанализировав механизмы лексикализации языковых элементов разных уровней в процессе изучения иностранного языка, можно сделать следующие выводы:

– под «лексикализацией» следует понимать процесс превращения в слово единицы другого (несловесного) уровня или иного явления, лежащего за пределами словообразовательного арсенала;

– лексикализация связана с изменением статуса морфемы, словоформы, связанного корня, словосочетания, предложения, компонента фразеологизма и приданием им характера слова;

– лексикализацию можно усматривать в процессе звукоподражания, паронимического словообразования и семантизации букв.

### Список литературы

1. Виноградов, В.В. Словообразование в его отношении к грамматике и лексикологии (на материале русского и родственных языков) / В.В. Виноградов // Избранные труды. – М., 1975. – 559 с.
2. Лопатин, В.В. Лексикализация: лингвистический энциклопедический словарь / В.В. Лопатин. – М., 1990. – 258 с.

- 
3. Яковлева, Е.Б. Лексикализация синтагматических рядов в современном английском языке: автореф. дис. ... д-ра филол. наук: 10.02.04 / Е.Б. Яковлева. – Москва, 1990. – 44 с.
  4. Михалева, Е.В. Явление лексикализации внутренней формы слова: дис. ... канд. филол. наук: 10.02.01 / Е.В. Михалева. – Томск, 1994. – 274 с.
  5. Пивоварова, С.В. Лексикализация форм множественного числа имен существительных в современном русском языке (в аспекте анализа их концептных значений): автореф. дис. ... канд. филол. наук: 10.02.01 / С.В. Пивоварова. – Барнаул, 2009. – 19 с.
  6. Новиков, Л.А. Лексикализация форм числа существительных в русском языке / Л.А. Новиков // Филологические науки. – 1963. – №1. – С. 77–89.
  7. Кузнецова, О.Д. О понятии лексикализации. Лексикализация фонетических явлений в говорах / О.Д. Кузнецова // Вопросы языкознания. – 1978. – № 2. – С. 111–117.
  8. Каргина, Е.М. Функциональный принцип в методике обучения иностранным языкам / Е.М. Каргина // Вестник ПГУАС: строительство, наука и образование. – 2016. – № 1 (2). – С. 84–89.

### References

1. Vinogradov, V.V. Word formation in its relation to grammar and lexicology (based on the material of Russian and related languages) / V.V. Vinogradov // Selected works. – M., 1975. – 559 p.
2. Lopatin, V.V. Lexicalization: linguistic encyclopedic dictionary / V.V. Lopatin. – M., 1990. – 258 p.
3. Yakovleva, E.B. Lexicalization of syntagmatic series in modern English: abstract of the dissertation of the Doctor of Sciences: 10.02.04 / E.B. Yakovleva. – M., 1990. – 44 p.
4. Mikhaleva, E.V. The phenomenon of lexicalization of the inner form of the word: dis. ... Candidate of Sciences: 10.02.01 / E.V. Mikhaleva. – Tomsk, 1994. – 274 p.
5. Pivovarova, S.V. Lexicalization of plural forms of nouns in modern Russian (in the aspect of the analysis of their conceptual meanings): abstract of the dissertation ... Candidate of Sciences: 10.02.01 / S.V. Pivovarova. – Barnaul, 2009. – 19 p.
6. Novikov, L.A. Lexicalization of noun number forms in the Russian language / L.A. Novikov // Philological sciences. – 1963. – No. 1. – P. 77–89.
7. Kuznetsova, O.D. On the concept of lexicalization. Lexicalization of phonetic phenomena in dialects / O.D. Kuznetsova // Questions of linguistics. – 1978. – No. 2. – P. 111–117.
8. Kargina, E.M. Functional principle in the methodology of teaching foreign languages / E.M. Kargina // Bulletin of PGUAS: construction, science and education. – 2016. – № 1 (2). – P. 84–89.

---

# МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ И КОМПЛЕКСЫ ПРОГРАММ

## MATHEMATICAL MODELING, NUMERICAL METHODS AND SOFTWARE PACKAGES

УДК 004.92

*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.vasin@gmail.com

*Самарский государственный медицинский  
университет*

Россия, 443099, г. Самара, ул. Чапаевская, 89

**Краснов Игорь Михайлович,**  
студент  
E-mail: krasnoffigor@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

**Vasin Leonid Anatolievich,**  
Candidate of Sciences, Associate Professor,  
Head of the department «Information and  
computing systems»  
E-mail: leo.vasin@gmail.com

*Samara State Medical University*

Russia, 443099, Samara, 89, Chapaevskaya St.

**Krasnov Igor Mikhailovich,**  
Student  
E-mail: krasnoffigor@gmail.com

## ПРИМЕНЕНИЕ ЦИФРОВЫХ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В НЕЙРОХИРУРГИИ

Л.А. Васин, И.М. Краснов

Показано использование аддитивных технологий, в частности 3D-печати, в нейрохирургической практике. Отмечены причины использования данной технологии. Описаны используемые в 3D-печати информационные средства. Рассмотрены возможности применения 3D-печати для изготовления имплантатов для краниопластики и потенциал их использования при реконструктивно-пластических и нейрохирургических операциях. Показаны перспективы внедрения инновационных аддитивных технологий 3D-печати в процессы протезирования дефектов свода и основания черепа с использованием современных информационных систем 3D-моделирования.

*Ключевые слова: 3D-технология, медицина, 3D-печать, краниопластика, 3D-модель, программное обеспечение*

---

# APPLICATION OF DIGITAL ADDITIVE TECHNOLOGIES IN NEUROSURGERY

L.A. Vasin, I.M. Krasnov

The use of additive technologies, in particular 3D printing, in neurosurgical practice is shown. The reasons for using this technology are given. The information tools used in 3D printing are described. The use of 3D printing for the manufacture of implants for cranioplasty and their use in reconstructive plastic and neurosurgical operations is considered. The aim of the study is to introduce innovative additive 3D printing technologies in the prosthetics of defects in the vault and base of the skull using modern 3D modeling information systems.

*Keywords: 3D technology, medicine, 3D printing, cranioplasty, 3D model, software*

## Введение

Новые методы и материалы, применяемые в аддитивных технологиях, позволяют использовать 3D-печать для создания объектов по самым разнообразным требованиям, например: прочностные и объемные характеристики, совместимость с биологическими материалами и др. Одной из областей применения таких технологий является медицина, где используется самый передовой инновационный опыт 3D-технологий с целью качественного улучшения процесса лечения. Аддитивные технологии (прототипирование) отличаются от традиционных способов изготовления изделий, которые основывались на технологиях удаления (вычитания) ненужного материала (точение, фрезеровка, шлифование, полировка). Построение объекта происходит послойно путем добавления материала на основе готовой 3D-модели изделия.

Технология 3D-печати стала применяться в медицине с начала 2000-х годов и использовалась в стоматологии для изготовления имплантов зубов. В дальнейшем развитие технологии шло по пути изготовления различных органов, тканей, частей скелета, черепа, кровеносных сосудов, тканей и даже отдельных органов, и она переросла в 3D-биопечать.

Реконструктивно-пластические операции, в частности краниопластика, входят в современную нейрохирургическую практику. Наличие дефекта костей черепа не только приводит к косметическим недостаткам и связанным с этим психологическим проблемам, но и может быть причиной неврологических нарушений. Технологии 3D-печати предоставляют возможность быстрого создания имплантата для краниопластики с высокой индивидуальной точностью, снижают время оперативного вмешательства и повышают эстетический эффект операции. Реконструкция дефектов черепа рассматривается как важный нейрохирургический этап восстановления пострадавших после черепно-мозговой травмы [1].

В ГБУЗ ПОКБ им. Н. Н. Бурденко ежегодно осуществляется 30–40 операций по закрытию дефектов черепа. Как правило, операция выполняется с использованием костного цемента: это полиметилметакрилат, который моделируется вручную во время операции. Результаты операций не всегда удовлетворяли как пациентов, так и врачей, так как реконструкция дефектов черепа довольно субъективна, поскольку конечный результат зависит от возможностей человека и навыков лепки. В связи с этим встал вопрос улучшения результатов хирургического лечения, и при этом в условиях одноканальной системы финансирования необходимо было уложиться в тариф ОМС. Кроме того, для решения задачи функционального и эстетического восстановления утраченных костей черепа необходимо создание индивидуального имплантата, точно повторяющего не только форму дефекта, но и нормальную костную архитектуру черепа конкретного пациента [2].

В настоящее время 3D-печать является работающей и перспективной технологией изготовления различных протезов, имплантатов, фрагментов некоторых органов [3]. Для выполнения поставленной задачи применяется программное средство с открытой лицензией GPL 3D-моделирования Blender с использованием зеркального фрагмента кости человека, интактного для моделирования его на дефект черепа. Для имплантации человеку можно использовать только сертифицированный материал – это костный цемент на основе полиметилметакрилата, который можно отливать только в

сертифицированном силиконе. В ЦМИТ «Прогресс», где обучают 3D-моделированию и выполняют печать различных фигур, была создана модель, по которой напечатаны специальные формы; в них был отлит силикон, используемый челюстно-лицевыми хирургами и сертифицированный для нужд системы здравоохранения.

Процесс создания нейрохирургического импланта состоит из следующих этапов:

1. Создание цифровых снимков необходимого объекта. Для этого выполняется компьютерная томография. В результате исследования получают послойные срезы органа. Далее производится сохранение полученных снимков в формат DICOM. Это специализированный медицинский отраслевой стандарт создания, хранения, передачи и визуализации цифровых медицинских изображений и документов обследованных. После этого возможно создание объемной модели реконструируемого органа, 3D-модель которого показана на рис. 1.

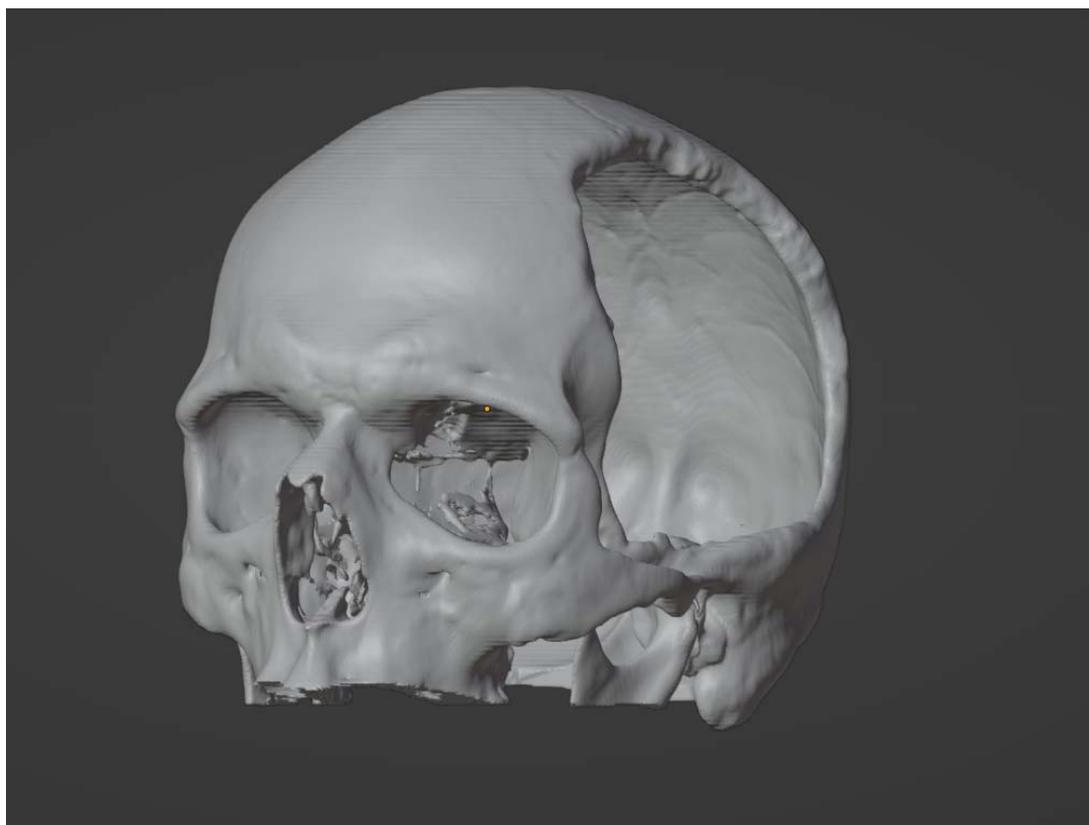


Рис. 1. 3D-модель с поврежденным участком

2. Формирование 3D-модели. С помощью специализированного программного обеспечения производится объемная 3D-модель. На этом этапе можно осуществить компьютерную коррекцию создаваемого объекта с помощью специального программного обеспечения. Для этого можно использовать 3D-сканирование для уточнения антропометрических данных пациента. После этого уже можно переходить к изготовлению модели на 3D-печатающем устройстве. На рис. 2 показана 3D-модель импланта. С помощью программы Blender можно проверить и визуализировать степень совместимости импланта. На рис. 3 показано наложение 3D-модели импланта на поврежденный участок.

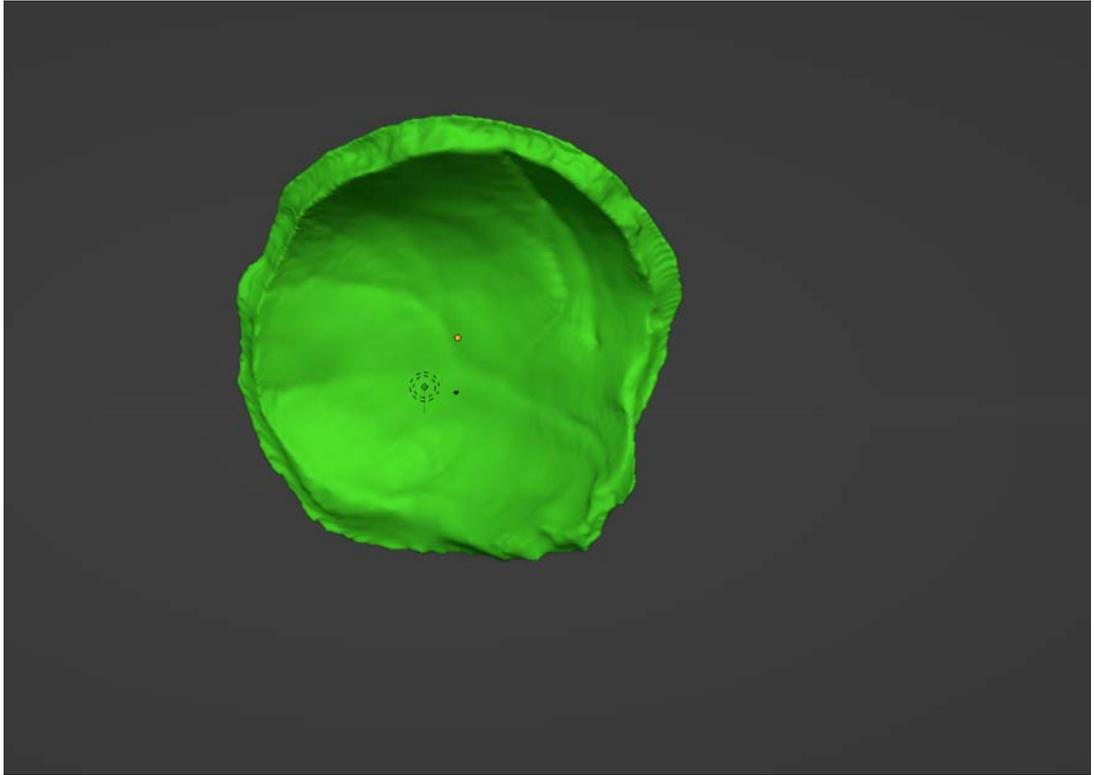


Рис. 2. 3D-модель импланта

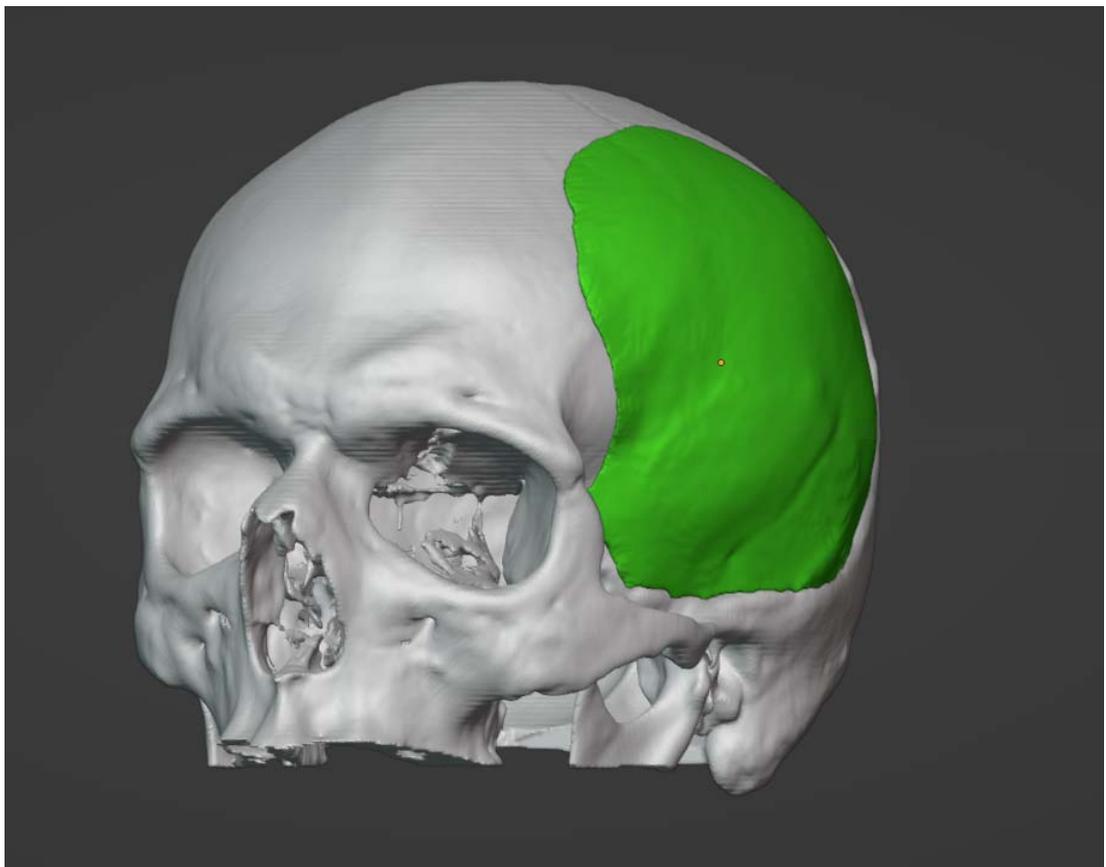


Рис. 3. 3D-модель реконструкции дефекта имплантом

3. Этап аддитивного производства импланта с помощью 3D-печати. В результате этого процесса получают индивидуальный по антропологическим данным имплант. На рис. 4 показана визуализация модели в программе Blender. Силиконовые формы были стерилизованы методом автоклавирования, а также другими методами стерилизации. На операции из полиметилметакрилата был отлит имплант, который заместил дефект черепа человека с достаточной анатомической точностью.

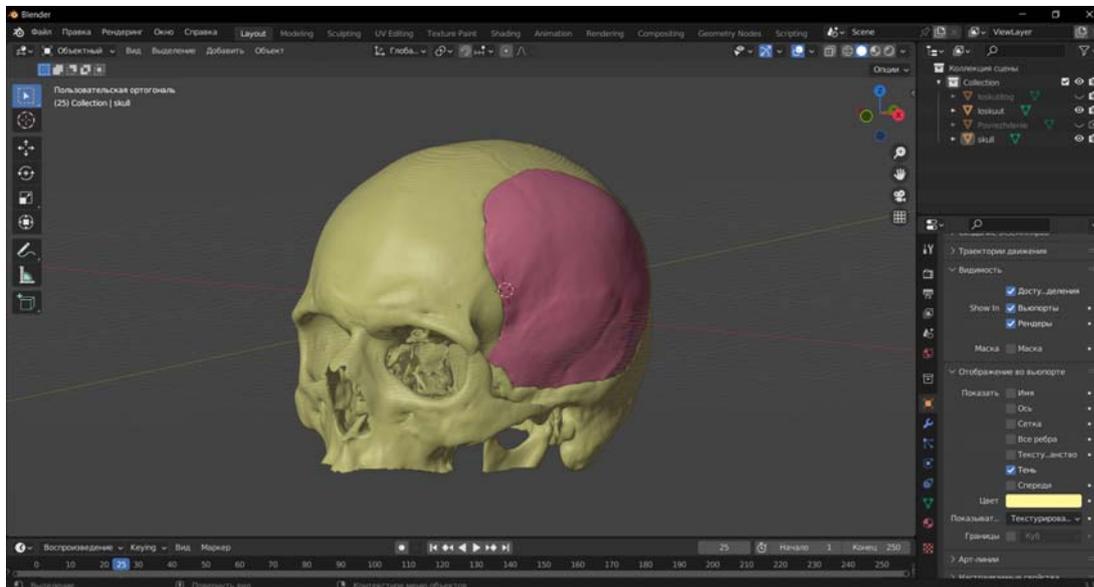


Рис. 4. 3D-модель импланта

4. Во втором случае дефект был относительно небольшой, но переходил со лба на висок и имел анатомически сложную форму, требующую применения 3D-моделирования. Поэтому была напечатана не форма, а имплант протеза свода черепа с использованием аддитивных технологий, форма для отливки силикона делалась по этому импланту по технически отработанной технологии. Был отлит имплант, который был имплантирован в череп человека с идеальным анатомическим результатом. На рис. 5 показана модель импланта второго пациента в программе Blender.

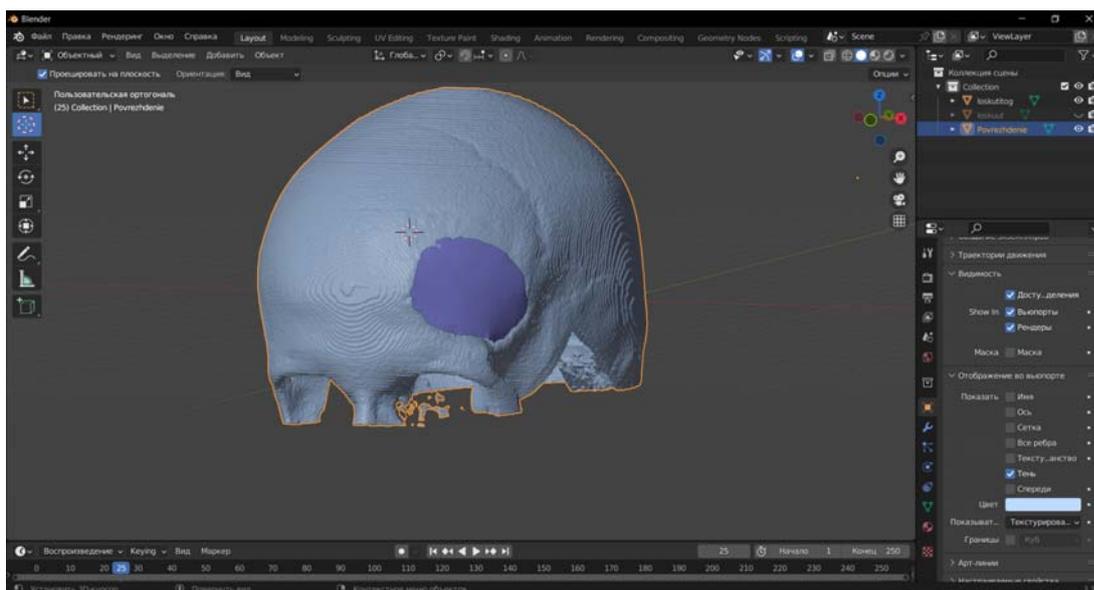


Рис. 5. 3D-модель второго импланта

5. На рис. 6 показан процесс получения отливки для импланта с помощью 3D-печати.



Рис. 6. 3D-печать формы для отливки импланта

6. Обе операции не требовали дополнительных финансовых затрат. Время операции было сокращено в связи с тем, что формы были изготовлены заранее. Результаты МРТ были идеальны и полностью удовлетворили и врачей, и пациентов.

#### Выводы

Использование современных аддитивных технологий позволяет нейрохирургам заранее изготавливать индивидуальные макеты имплантов на 3D-принтерах, более точно планировать ход операции и лучше ориентироваться во время проведения операции. Доступность программного обеспечения позволяет нейрохирургам принимать участие в непосредственном моделировании разрабатываемого 3D-объекта с последующим его изготовлением. Для внедрения инновационных 3D-технологий в хирургию не требуется дополнительного финансирования: существует возможность использования бесплатных общедоступных программ и усилий энтузиастов.

#### Список литературы

1. Яриков, А.В. Краниопластика: обзор материалов и методик / А.В. Яриков, А.П. Фраерман, В.А. Леонов, О.А. Перльмуттер, С.Е. Тихомиров, А.В. Яксаргин, П.В. Смирнов // Креативная хирургия и онкология. – 2019. – №9(4). – P.278–284. – URL: <https://doi.org/10.24060/2076-3093-2019-9-4-278-284>
2. Мишинов, С.В. Трехмерное моделирование и печать в нейрохирургии / С.В. Мишинов, В.В. Ступак, Н.А. Копорушко, А.А. Панченко, И.Б. Красовский, И.В. Десятых // В кн.: VIII Всероссийский съезд нейрохирургов. – СПб., 2018. – 169 с.
3. Morton, R.P. Timing of cranioplasty: A 10.75-year single-center analysis of 754 patients / R.P. Morton, I.J. Abecassis, J.F. Hanson, J.K. Barber, M. Chen, C.M. Kelly [et al.] // Neurosurg. – 2018. – №128(6). – P1648–52. – DOI: 10.3171/2016.11.JNS161917

---

## References

1. Yarikov, A.V. Cranioplasty: a review of materials and techniques / A.V. Yarikov, A.P. Fraerman, V.A. Leonov, O.A. Perlmutter, S.E. Tikhomirov, A.V. Yaksargin, P.V. Smirnov // *Creative surgery and oncology*. – 2019. – №9(4). – P.278–284. – URL: <https://doi.org/10.24060/2076-3093-2019-9-4-278-284> 2.
2. Mishinov, S.V. Three-dimensional modeling and printing in neurosurgery / S.V. Mishinov, V.V. Stupak, N.A. Koporushko, A.A. Panchenko, I.B. Krasovsky, I.V. Desytykh // In: VIII All-Russian Congress of Neurosurgeons. – SPb., 2018. – 169 p.
3. Morton, R.P. Timing of cranioplasty: A 10.75-year single-center analysis of 754 patients / R.P. Morton, I.J. Abecassis, J.F. Hanson, J.K. Barber, M. Chen, C.M. Kelly [et al.] // *Neurosurg*. – 2018. – №.128(6). – P1648–52. – DOI: 10.3171/2016.11.JNS161917

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.vasin@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

**Vasin Leonid Anatolievich**,  
Candidate of Sciences, Associate Professor,  
Head of the department «Information and  
computing systems»  
E-mail: leo.vasin@gmail.com

## ПОВЫШЕНИЕ ОТКАЗОУСТОЙЧИВОСТИ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ РЕСУРСОВ УНИВЕРСИТЕТА

Л.А. Васин

Показан способ организации системы защиты интернет-ресурсов университета от сетевых атак типа DDoS на основе открытого программного обеспечения с лицензией GPL. В качестве него используется NGINX, представляющий веб- и прокси-сервер и осуществляющий анализ входных сетевых пакетов с http-запросами. Проводится определение сетевых адресов, с которых поступают такие пакеты, и на основе системы логирования формируется список их IP адресов с последующей передачей сетевому пакетному фильтру netfilter, который и осуществляет блокировку.

Приведены примеры настройки программного обеспечения. Показана структурная организация системы на примере информационной системы университета.

*Ключевые слова: сетевые атаки, сайт, сетевой доступ, компьютерная сеть, сетевые пакеты, DDoS, NGINX, Netfilter, iptables, log*

## INCREASING THE FAULT TOLERANCE OF UNIVERSITY COMPUTING RESOURCES

L.A. Vasin

A method of organizing a system for protecting the university's Internet resources from network attacks such as DDoS based on open source software with a GPL license is shown. It uses NGINX, which represents a web and proxy server and analyzes input network packets with http requests. The network addresses from which such packets are received are determined and, based on the logging system, a list of their IP addresses is formed, followed by transmission to the network packet filter netfilter, which performs the blocking. Examples of software settings are given. The structural organization of the system is shown on the example of the university information system.

*Keywords: network attacks, website, network access, computer network, network packets, DDoS, NGINX, Netfilter, iptables, log*

### Введение

Внедрение информационных систем в университете позволило реализовать электронную информационную образовательную среду, в рамках которой осуществляется автоматизация существующих процессов, связанных с получением знаний, организацией процессов в сфере административного управления, образования и проведения научных исследований. Каждый из них обеспечивается информационной системой, функционирующей на базе процессов, происходящих в вычислительной системе. Под ней понимается автоматизированная система, представляющая собой совокупность комплекса программно-аппаратных средств, документов административного, организационно-методического и технологического характера, предназначенная для сбора, хранения, обработки, передачи и выдачи информации пользователям.

---

Такая система служит базовой для реализации электронной информационной образовательной среды (ЭИОС), наличие которой обусловлено требованиями ФГОС. Она состоит из совокупности сетевых информационных ресурсов (ИР), расположенных на физических серверных платформах, технологий программной или аппаратной виртуализации (например, использование контейнеров, виртуальных машин с паравиртуализацией, полной виртуализацией). Все информационные ресурсы имеют сетевые подключения и интегрируются с компьютерной сетью университета.

Качественное функционирование ИР обуславливается критериями надежности. Под этим термином понимается свойство информационной системы (ИС) сохранять все свои параметры во времени и при этом выполнять заложенные в ней функции в заданных условиях и режимах эксплуатации. Надежность ИС зависит от следующих основных факторов:

- показателей надежности аппаратного обеспечения;
- показателей надежности используемого программного обеспечения;
- уровня квалификации обслуживающего персонала;
- режимов эксплуатации технических средств;
- наличия средств и мероприятий по резервированию системных компонентов.

Под единичным показателем надежности понимается характеристика свойства или комплекса из нескольких свойств, определяющих общую надежность ИС. Самым важным показателем надежности считается время наработки ИС, под которым понимают временную продолжительность или объем выполненных ИС вычислений. На практике используется именно комплексный показатель надежности, состоящий из совокупности единичных показателей компонентов ИС.

К единичным показателям надежности относятся: показатели безотказности, показатели ремонтпригодности и показатели долговечности. Основные показатели безотказности [1]:

1. Вероятность безотказной работы – пределы заданной наработки на отказ, при которых он не возникнет.
2. Вероятность отказа – вероятность того, что в пределах заданной наработки отказ системы возникнет.
3. Средняя наработка до отказа – ожидание времени наработки системы до первого отказа.
4. Средняя наработка на отказ – отношение наработки системы к ожиданию числа ее отказов в пределах этой наработки.
5. Интенсивность отказов – условный параметр вероятности возникновения отказа системы.

Надежность их работы зависит от множества факторов, а именно от качества используемого аппаратного и программного обеспечения, наличия гарантированной пропускной способности сетевого канала передачи данных. Одними из распространенных причин снижения надежности являются возникновения отказов из-за перегрузки системы при обработке и передаче данных. Такая ситуация возможна из-за сетевой атаки через сетевой адаптер серверной платформы, на которой функционирует ИР. Этот тип атаки получил название «отказ в обслуживании» (DDoS), при котором происходит генерация большого количества сетевых пакетов и запросов к ИР. В этом случае происходит перегрузка системных характеристик системы, таких, как пропускная способность канала передачи данных и сетевого оборудования, а также превышение максимальной производительности процессора. Существует разновидность DoS атаки, при которой происходит распределенная генерация сетевого флуда, DDoS.

Для защиты ИР от внешних угроз и возникновения отказа по причине сетевой атаки существуют различные способы защиты, например:

1. Использование аппаратных межсетевых экранов, осуществляющих анализ и фильтрацию всех сетевых пакетов, проходящих через него.
2. Программные системы предотвращения DDoS, установленные на канале передачи данных локально или через провайдера связи.
3. Системы IDS для обнаружения сетевых вторжений.

---

4. Программные средства блокировки попыток сканирования сетевых портов, установленные на IP.

5. Применение расширенной антивирусной защиты, позволяющей проводить анализ используемых программных средств и сетевого трафика на серверах приложений и абонентском оборудовании.

Выделяют несколько типов DDoS-атак, основанных на сетевом флуде: SYN-ACK, HTTP, ICMP, UDP. Очень часто для создания сетевой атаки типа DDoS используют HTTP-флуд. Под этим термином понимают поток сетевых пакетов, не несущих никакой полезной информации, например пустые пакеты. Они предназначаются для публичных интернет-сервисов IP, например интернет-сайтов университета, электронных курсов и форумов. Целью таких пакетов является перегрузка канала передачи данных и вычислительной способности аппаратной платформы и других технических средств IP. На сервер поступает большое количество запросов типа GET на 80 порт. При этом становится невозможно осуществить нормальную работу IP, так как из-за нехватки системных ресурсов прекращается обработка текущих запросов легитимных пользователей.

Механизм создания HTTP-флуда следующий: на большое количество вычислительных ресурсов производится установка атакующего бота. Установка производится после несанкционированного проникновения на компьютер, например через компьютерные вирусы. После запуска бота генерируются HTTP-запросы на атакующий WEB-сервер или другой интернет-ресурс, функционирующий на основе протокола прикладного уровня HTTP. Практически применяется распределенная сеть ботов, направленных на получение максимального количества сетевых пакетов. В основном используется запрос к сайту типа GET, направленный на максимально большое количество элементов сайта. Кроме GET-запросов, используются запросы типа POST и выполняющие другие действия с сайтом по протоколу HTTP. Все эти действия приводят к одному результату – невозможности получить доступ к сайту.

Среди возможных способов защиты стоит отметить следующие: использование аппаратных решений для комплексного анализа сетевого трафика; применение программных средств, способных на основе анализа работы WEB определять и осуществлять блокировку DDoS-атак. Также возможна настройка ограничений клиентских сессий с помощью программных средств используемых IP, а также установка дорогостоящих аппаратных комплексов анализа трафика. Для реализации защиты с помощью программных средств необходимо развернуть следующие компоненты системы защиты:

1. Анализатор сетевых запросов на IP для выявления атак в приходящем сетевом трафике.

2. Блокиратор атакующих сетевых хостов.

В качестве анализатора удобно применять совокупность log-файла web-сервера, в котором необходимо включить регистрацию всех типов log-событий, и программного скрипта, осуществляющего анализ log-файла и формирующего список атакующих сетевых адресов. В качестве http-сервера необходимо использовать nginx. Это высокопроизводительный программный сервер с возможностями гибкой настройки, используемый на большом количестве web-серверов в сети интернет [2, 3]. Он позволяет провести хеширование всех страниц сайта и тем самым значительно снизить нагрузку процессор сервера. Блокиратор сетевых запросов атакующих хостов реализуется на основании программного интерфейса iptables к сетевому пакетному фильтру netfilter и программного средства ipset. Iptables – это программный интерфейс для управления сетевым пакетным фильтром netfilter [4]. С его помощью сетевые администраторы создают и изменяют правила, управляющие фильтрацией, перенаправлением и блокировкой сетевых пакетов, пришедших на IP. Для управления списком сетевых адресов используется программный пакет ipset, позволяющий организовать список сетей, IP- или MAC-адресов. Он состоит из модуля ядра, библиотек и утилитов для формирования и управления списком IP-адресов и передачи его пакетному фильтру netfilter.

Nginx представляет возможность по использованию функций лимитов на соединения (rate limit). Применяя данную функцию, можно ограничить количество HTTP-запросов от атакующих хостов в определённый промежуток времени и замед-

лить перебор паролей для злоумышленника или предотвратить DDoS-атаки, снизив количество входящих запросов до типичных для пользователей значений. Функцию лимитов можно применять к запросам GET и POST. Дополнительно можно предотвратить перегрузку серверов IP во время резкого увеличения пользовательских запросов.

В состав программного пакета nginx входят два модуля:

- `nginx ngx_http_limit_conn` служит для ограничения количества соединений, устанавливаемых одним IP;
- `nginx ngx_http_limit_req` служит для ограничения количества (частоты) одиночных IP-запросов.

Для повышения эффективности борьбы с сетевыми атаками в Nginx имеется возможность формирования кода ответа 444, который осуществляет прекращение сеанса соединения с WEB-сервером без отправки обратных данных. Это гораздо эффективнее отправки ответа 403, что позволяет существенно снизить нагрузку на сам сервер и канал передачи данных.

На рис. 1 показана настройка секции `location` для сайта `pguas.ru` файла конфигурации сервера `nginx`.

```
pguas.ru.conf [BM--] 33 L:[ 4+15 19/146] *(819 /12395b) 0113
location / {
#<-----><----->limit_req zone=one burst=10 nodelay;
#<-----><----->limit_conn addr 1000;
<-----><----->if ( $http_referer ~* (http%3A/www.pguas.ru/) ) {
<-----><----->set $logme 1;....
<-----><----->return 405;
<-----><----->}
<-----><----->if ( $status = 404 ) {
<-----><----->set $logme 1;
<-----><----->return 444;
<-----><----->}
<-----><----->if ( $request_method = GET ) {
<-----><----->set $is_broken_req "G";
<-----><----->}.
<-----><----->if ( $request_uri = "/" ) {
<-----><----->set $is_broken_req "${is_broken_req}U";
<-----><----->}.
<-----><----->if ( $http_accept = "" ) {
<-----><----->set $is_broken_req "${is_broken_req}A";
<-----><----->}.
<-----><----->if ( $is_broken_req = GUA ) {
<-----><----->set $logme 1;
<-----><----->return 444;...
<-----><----->}.
<-----><----->access_log /var/log/nginx/block blocklog if=$logme;
```

Рис. 1. Файл настройки сервера `nginx`

На основании этих правил формируется список IP-адресов, подпадающих под правила фильтрации и идентифицирующихся как источники DDoS-атак. На рис. 2 показан список IP-адресов в неупорядоченном виде, полученный из анализа `log`-файла `nginx`.

```
block [----] 0 L:[ 1+
217.74.32.238
217.74.32.238
194.34.249.88
158.195.11.36
194.34.249.88
92.246.170.243
136.243.220.210
92.246.170.243
145.239.154.85
145.239.154.85
```

Рис. 2. Файл `block` со списком IP-адресов атакующих хостов

Программный скрипт BASH ddbb2.sh на основании полученного файла с IP-адресами формирует список для сетевого пакетного фильтра (рис. 3).

```
ddbb2.sh [----] 23 L:[ 1+ 1 2/ 6] *(35 /
#!/bin/bash
sort -u /var/log/nginx/block > /var/log/nginx/blockIP
for IP in $(cat /var/log/nginx/blockIP);
do ipset add blacklist2 $IP -! ;
done
echo -n > /var/log/nginx/blockIP
```

Рис. 3. Скрипт, формирующий список IP-адресов, подлежащих блокировке на уровне сетевого пакетного фильтра

Список IP-адресов blacklist2 программного средства ipset, по которому пакетный фильтр блокирует атакующие хосты, показан на рис. 4.

```
Name: blacklist2
Type: hash:net
Revision: 6
Header: family inet hashsize 1048576 maxelem 1000000
Size in memory: 7051896
References: 1
Number of entries: 116475
Members:
45.154.138.71
27.189.132.228
138.199.7.183
45.133.192.167
114.106.170.119
129.213.55.67
103.149.162.154
23.254.36.86
49.72.201.165
192.145.69.64
182.23.49.147
54.211.1.213
64.145.76.135
23.128.168.1
94.143.196.240
185.187.215.125
188.126.79.16
134.236.6.105
91.198.230.123
183.166.19.80
```

Рис. 4. Вывод списка IP-адресов, находящихся в blacklist2 сетевого пакетного фильтра Netfilter

Выводы:

1. Построение системы защиты от сетевых атак повышает отказоустойчивость вычислительных ресурсов информационной системы университета.
2. Использование программного средства nginx с открытой лицензией позволяет строить эффективную защиту от сетевых атак типа DDoS на WEB информационные ресурсы университета.
3. Применение кеширующего WEB-сервера nginx совместно с сетевым пакетным фильтром netfilter позволяет организовать блокировку сетевых пакетов с запросами к WEB информационным ресурсам университета с атакующих хостов.

### Список литературы

1. ГОСТ 27.002-2015. Надежность в технике. Термины и определения: Межгосударственный стандарт. – М., 2015.
2. Де Йонге, Д. NGINX. Книга рецептов / Д. Де Йонге. – М.: ДМК Пресс, 2019. – 176 с.

- 
3. Айвалиотис, Д. Администрирование сервера NGINX / Д. Айвалиотис. – М.: ДМК Пресс, 2018. – 288 с.
  4. Purdy, Gregor N. Linux Iptables: Pocket Reference / Gregor N. Purdy. – США: O'Reilly Media, 2004. – 96 p.

### Referances

1. GOST 27.002-2015. Interstate standard. Reliability in technology. Terms and Definitions. – М., 2015.
2. De Jonge, D. NGINX. Recipe book / D. de Jonge. – М.: ДМК Пресс, 2019. – 176 p.
3. Aivaliotis, D. NGINX Server Administration / D. Aivaliotis. – М.: ДМК Пресс, 2018. – 288 p.
4. Purdy, Gregor N. Linux Iptables: Pocket Reference / Gregor N. Purdy. – USA: O'Reilly Media, 2004. – 96 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

**Кузина Валентина Владимировна**,  
кандидат технических наук, доцент кафедры  
«Информационно-вычислительные системы»  
E-mail: kuzina@pguas.ru

**Сёмочкина Владислава Олеговна**,  
студент  
E-mail: vlsemochkina@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

**Kuzina Valentina Vladimirovna**,  
Candidate of Sciences, Associate professor of the  
department «Information and computing systems»  
E-mail: kuzina@pguas.ru

**Syomochkina Vladislava Olegovna**,  
Student  
E-mail: vlsemochkina@mail.ru

## ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ В ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ

В.В. Кузина, В.О. Сёмочкина

Представлена структура искусственной нейронной сети. Описаны принципы работы и классификация нейронных сетей, а также возможность использования их в области информационных технологий. Приведен пример создания простой нейронной сети на языке программирования Python.

*Ключевые слова: искусственная нейронная сеть, функция активации, обучение, тренировочные данные, ошибка, язык программирования Python*

## ON THE USE OF ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS IN INFORMATION TECHNOLOGIES

V.V. Kuzina, V.O. Syomochkina

The structure of an artificial neural network, the description of the principles of operation and the classification of neural networks are presented. The possibilities of using them in the field of information technology are described. An example of creating a simple neural network in the Python programming language is given.

*Keywords: artificial neural network, activation function, training, training data, error, Python programming language*

Направление исследований, специализирующееся на искусственных нейронных сетях (ИНС), активно развивается. Актуальность таких исследований подтверждается широким спектром областей применения ИНС. Целесообразность их использования в сфере информационных технологий обусловлена возможностью решения проблем распознавания образов, моделирования, прогнозирования, оптимизации, управления и др.

Нейронной сетью называют модель, построенную по математическим правилам и способную самостоятельно принимать решения в определённых ситуациях. Нейросеть – это машинная интерпретация работы головного мозга человека, состоящая из последовательности нейронов, которые соединены между собой синапсами.

Основу для двух подходов исследования нейронных сетей заложили Мак-Каллок и Питтсон, разработавшие в 1943 году компьютерную модель нейросети на основе математических алгоритмов и теории деятельности головного мозга человека [1]. Первый подход ориентирован на изучение биологических процессов в головном мозге человека, второй – на применение нейросетей в искусственном интеллекте для решения различных прикладных задач.

Мак-Каллок и Питтсон рассматривали нейроны как устройства, которые оперируют двоичными числами, эта модель получила название «пороговая логика». Искусственная нейронная сеть выглядит как система процессов, которые соединены и

взаимодействуют между собой. Одним из самых главных преимуществ ИНС является то, что их не нужно программировать, как любые другие программы или системы, потому что они способны обучаться [2].

Исследования нейросетей несколько замедлились, после того как в 1969 году Минский и Пейперт в публикации по машинному обучению раскрыли основные проблемы, возникающие при компьютерной реализации искусственной нейронной сети. Первой проблемой было то, что в однослойных нейронных сетях не осуществлялась функция «исключающее или». Вторая проблема состояла в недостаточной вычислительной мощности компьютеров для эффективной обработки огромных объемов вычислений, необходимых для больших нейронных сетей [3]. Но по мере увеличения компьютерных мощностей интерес к модели ИНС и её использованию возрос.

Как видно из структуры, приведенной на рисунке, ИНС состоит из множества нейронов, объединенных в слои. Нейрон – это вычислительная единица, которая получает информацию, производит над ней простые вычисления и передаёт дальше. Нейроны оперируют значениями в диапазонах  $[0, 1]$  и  $[-1, 1]$ .

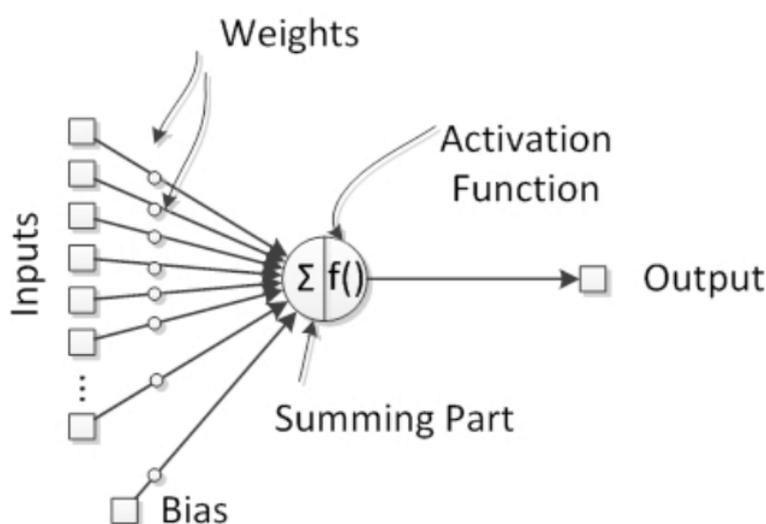


Рис. 1. Структура искусственной нейросети

Выделяют следующие слои:

- входной слой, получающий информацию извне (Inputs);
- несколько скрытых слоёв (обычно не больше 3), которые обрабатывают информацию;
- выходной слой, который выводит результат (Output).

У каждого нейрона имеются два основных параметра: входные и выходные данные. В случае входного нейрона они равны. В остальных нейронах входными данными является суммарная информация с предыдущего слоя, которая впоследствии нормализуется с помощью функции активации  $f(x)$  [3]. Из-за наличия синапсов – связи между двумя нейронами – входная информация преобразуется, переходя от одного нейрона к другому, обрабатывается и превращается в результат. Веса синапсов  $w$  (Weights) расставляются случайным образом во время инициализации нейронной сети. Информация нейрона, у которого вес больше, будет доминировать в следующем нейроне.

После перемножения входных значений данных на веса синапсов они подставляются в функцию активации. К наиболее часто используемым активационным функциям относятся [3]:

- сигмоидная (сигмоида)  $f(x) = 1/(1 + e^{-x})$ ;
- гиперболический тангенс  $f(x) = (1 - e^{-x})/(1 + e^{-x})$ ;

- жёсткая пороговая функция  $f(x) = \begin{cases} 0, & x < 0; \\ 1, & x \geq 0, \end{cases}$
- линейная  $f(x) = x$ .

Линейная функция используется, только когда требуется протестировать нейросеть или же передать значение без преобразований.

Наиболее распространённой функцией активации является сигмоида или логистическая функция, диапазон значений которой  $[0, 1]$ . Именно с этой функцией показано больше примеров нейросети, однако в случаях, когда присутствуют отрицательные значения, она не подойдёт.

В случаях, когда есть и отрицательные, и положительные значения, применяется гиперболический тангенс, диапазон значений которого  $[-1, 1]$ . Использование этой функции только с положительными значениями не целесообразно, поскольку результаты нейронной сети могут значительно ухудшиться.

После того как входные данные прошли функцию активации, они становятся выходными для данного слоя и передаются на следующий слой. Так повторяется для всех слоёв, пока данные не дойдут до выходного нейрона.

Запустив в первый раз такую сеть, можно увидеть, что результат далёк от правильного, потому что сеть не натренирована.

По классификации нейронные сети делятся на [4]:

- полносвязанные, в которых нейрон передаёт входную информацию всем остальным нейронам, в том числе и себе;
- неполносвязанные, которые, в свою очередь, делятся на однослойные (имеют входной, выходной, а также один скрытый слой) и многослойные (допускают наличие связи между нейронами одного слоя).

Для получения оптимального результата нейронную сеть необходимо вначале обучить. С этой целью формируются данные, на которых сеть и будет обучаться. Такую последовательность данных называют тренировочным сетом, а количество тренировочных сетов, которые прошла нейросеть, – итерацией [3].

Помимо итерации, есть такое понятие, как эпоха. При инициализации нейронной сети она приобретает значение «0» и имеет потолок, задаваемый вручную. Чем больше эпоха, тем лучше натренирована сеть и результат. Эпоха увеличивается каждый раз, когда ИНС проходит весь набор тренировочных сетов. То есть сначала в некоторое количество раз увеличивается итерация, а потом уже эпоха. Нельзя сначала тренировать нейросеть только на одном сете, потом на другом. Нужно тренировать каждый сет один раз за эпоху. Так можно избежать ошибок в вычислениях.

Ошибка (процентная величина, отражающая расхождение между ожидаемыми и реальными результатами) формируется каждую эпоху и при правильных действиях должна идти на спад; если этого не происходит, значит, что-то идёт не так.

Существуют три основных способа расчёта ошибки [3]:

- MSE (Mean Squared Error) – чаще всего используется именно этот метод, так как он сохраняет баланс при вычислении ошибки. Формула для расчёта:

$$\left( (i_1 - a_1)^2 + (i_2 - a_2)^2 + \dots + (i_n - a_n)^2 \right) / n; \quad (1)$$

- Root MSE – выдаёт наименьшую ошибку при вычислениях:

$$\sqrt{(i_1 - a_1)^2 + (i_2 - a_2)^2 + \dots + (i_n - a_n)^2} / n; \quad (2)$$

- Arctan – результат ошибки, практически всегда будет больше, чем в двух предыдущих методах, так как он работает по принципу: чем больше разница, тем больше ошибка:

$$\left( \arctan^2(i_1 - a_1) + \arctan^2(i_2 - a_2) + \dots + \arctan^2(i_n - a_n) \right) / n. \quad (3)$$

Во всех случаях за каждый сет ошибка вычисляется как разница между идеальным ответом и полученным. Далее результат или возводится в квадрат, или вычисляется его тангенс и делится на количество сетов.

Рассмотрим простой пример работы нейросети на языке программирования Python, которая отличает прозу от стихотворения.

Зададим следующие данные (см. таблицу).

Набор данных

Название произведения	Среднее количество слов в строке	Наличие рифмы (Да – 1, Нет – 0)	Проза – 1 Стихотворение – 0
«Мартин Иден» Джек Лондон	18	0	1
«Письмо к женщине» С. Есенин	3	1	0
«Она пришла с мороза...» А. Блок	2	0	0
«Судьба человека» М. Шолохов	14	0	1

На имеющихся данных натренируем нейронную сеть таким образом, чтобы она предсказывала, что перед нами: проза – 1 или стихотворение – 0.

Для оценки того, насколько сеть хорошо справляется со своей задачей, используем среднеквадратическую ошибку потери, т.е. MSE по формуле (1). Чем лучше предсказание, тем ниже её значение.

Код функции, которая отвечает за подсчёт потерь нейросети, имеет вид, представленный на листинге 1.

```
def mse_loss(y_true, y_pred):  
    return ((y_true - y_pred) ** 2).mean()
```

Листинг 1

Для оптимизации или, по-другому, для тренировки нейронной сети будем использовать алгоритм стохастического градиентного спуска, суть которого заключается в том, что для минимизации потерь необходимо менять вес и смещение. За тренировку сети будет отвечать функция train (листинг 2).

```
def train(self, data, all_y_trues):  
    learn_rate = 0.1  
    epochs = 1000  
  
    for epoch in range(epochs):  
        for x, y_true in zip(data, all_y_trues):  
  
            sum_h1 = self.w1 * x[0] + self.w2 * x[1] + self.b1  
            h1 = sigmoid(sum_h1)  
  
            sum_h2 = self.w3 * x[0] + self.w4 * x[1] + self.b2  
            h2 = sigmoid(sum_h2)  
  
            sum_o1 = self.w5 * h1 + self.w6 * h2 + self.b3  
            o1 = sigmoid(sum_o1)  
            y_pred = o1  
  
            d_L_d_ypred = -2 * (y_true - y_pred)
```

---

```

# Нейрон o1
d_ypred_d_w5 = h1 * deriv_sigmoid(sum_o1)
d_ypred_d_w6 = h2 * deriv_sigmoid(sum_o1)
d_ypred_d_b3 = deriv_sigmoid(sum_o1)

d_ypred_d_h1 = self.w5 * deriv_sigmoid(sum_o1)
d_ypred_d_h2 = self.w6 * deriv_sigmoid(sum_o1)

# Нейрон h1
d_h1_d_w1 = x[0] * deriv_sigmoid(sum_h1)
d_h1_d_w2 = x[1] * deriv_sigmoid(sum_h1)
d_h1_d_b1 = deriv_sigmoid(sum_h1)

# Нейрон h2
d_h2_d_w3 = x[0] * deriv_sigmoid(sum_h2)
d_h2_d_w4 = x[1] * deriv_sigmoid(sum_h2)
d_h2_d_b2 = deriv_sigmoid(sum_h2)

# --- Обновляем вес и смещения
# Нейрон h1
self.w1 -= learn_rate * d_L_d_ypred * d_ypred_d_h1
* d_h1_d_w1
self.w2 -= learn_rate * d_L_d_ypred * d_ypred_d_h1
* d_h1_d_w2
self.b1 -= learn_rate * d_L_d_ypred * d_ypred_d_h1
* d_h1_d_b1

# Нейрон h2
self.w3 -= learn_rate * d_L_d_ypred * d_ypred_d_h2 *
d_h2_d_w3
self.w4 -= learn_rate * d_L_d_ypred * d_ypred_d_h2 *
d_h2_d_w4
self.b2 -= learn_rate * d_L_d_ypred * d_ypred_d_h2 *
d_h2_d_b2

# Нейрон o1
self.w5 -= learn_rate * d_L_d_ypred * d_ypred_d_w5
self.w6 -= learn_rate * d_L_d_ypred * d_ypred_d_w6
self.b3 -= learn_rate * d_L_d_ypred * d_ypred_d_b3

# --- Подсчитываем общую потерю в конце каждой фазы
if epoch % 10 == 0:
    y_preds = np.apply_along_axis(self.feedforward, 1,
data)
    loss = mse_loss(all_y_trues, y_preds)

```

Листинг 2. Функция тренировки сети

Также необходимо задать функцию активации, её производную (листинг 3). Создадим функцию, которая будет случайным образом генерировать смещения и веса, и функцию, которая будет умножать их на функцию активации (листинг 4).

```

def sigmoid(x):
    # Функция активации sigmoid:  $f(x) = 1 / (1 + e^{-x})$ 
    return 1 / (1 + np.exp(-x))

def deriv_sigmoid(x):
    # Производная от sigmoid:  $f'(x) = f(x) * (1 - f(x))$ 
    fx = sigmoid(x)
    return fx * (1 - fx)

```

Листинг 3. Функция активации

```

class OurNeuralNetwork:
    def __init__(self):

```

---

```

# Вес
self.w1 = np.random.normal()
self.w2 = np.random.normal()
self.w3 = np.random.normal()
self.w4 = np.random.normal()
self.w5 = np.random.normal()
self.w6 = np.random.normal()

# Смещения
self.b1 = np.random.normal()
self.b2 = np.random.normal()
self.b3 = np.random.normal()

def feedforward(self, x):

    # x является массивом numpy с двумя элементами
    h1 = sigmoid(self.w1 * x[0] + self.w2 * x[1] + self.b1)
    h2 = sigmoid(self.w3 * x[0] + self.w4 * x[1] + self.b2)
    o1 = sigmoid(self.w5 * h1 + self.w6 * h2 + self.b3)
    return o1

```

Листинг 4. Функция генерации смещения и веса

Задаём набор данных для тренировки и вызываем функцию для оптимизации нейронной сети, куда передаём наш датасет (листинг 5).

```

# Определение набора данных
data = np.array([
    [18, 0],
    [3, 1],
    [2, 0],
    [14, 0],
])

# 0 - стих; 1 - проза
all_y_trues = np.array([
    1, # "Мартин иден" Джек Лондон
    0, # "Письмо к женщине" С.Есенин
    0, # "Она пришла с мороза..." А.Блок
    1, # "Судьба человека" М.Шолохов
])

# Тренируем нейронную сеть
network = OurNeuralNetwork()
network.train(data, all_y_trues)

```

Листинг 5. Тренировка сети

Теперь можно использовать нейросеть для предсказания. В результате ее работы произведение Ф.М. Достоевского «Преступление и наказание» оказалось прозой, а произведение А.С. Пушкина «Я помню чудное мгновенье» – стихотворением (листинг 6).

```

# 17 слов в строке, нет ритма "Преступление и наказание"
Ф.Достоевский
data_set_1 = np.array([17, 0])
# 3 слова в строке, есть ритм "Я помню чудное мгновенье" А.Пушкин
data_set_2 = np.array([3, 1])

print("Преступление и наказание: %.3f" %
network.feedforward(data_set_1))
print("Я помню чудное мгновенье: %.3f" %
network.feedforward(data_set_2))

```

```

Преступление и наказание: 0.928
Я помню чудное мгновенье: 0.054

```

Листинг 6. Результат предсказания

---

На сегодняшний день искусственные нейронные сети используются во многих областях для решения сложных задач. Самыми распространёнными применениями нейросети являются [5]:

- классификация – распределение данных по параметрам. Например, когда нужно определить, соответствует ли человек категории населения, которой положены льготы;
- предсказание – возможность предсказать следующий шаг. Например, чтобы спрогнозировать стоимость акций компании;
- распознавание – возможность распознавания объекта. Например, когда нужно определить, кто изображён на фотографии – мужчина или женщина.

Ещё стоит отметить, что нейросети хорошо справляются с задачей в тех случаях, когда она уже была решена другими способами и есть накопленный объём релевантных данных. Если же помимо данных важен контекст, лучше решать задачу без нейронных сетей.

В области информационных технологий одной из наиболее популярных задач для нейросети является распознавание речи. Например, демонстрационная система для голосового управления встроенным калькулятором Windows (разработчики – российская компания «Нейропроект») способна распознавать 36 команд. Распознавание не зависит ни от особенностей голоса, ни от произношения.

В области телекоммуникаций нейросеть решает одну из важнейших задач – нахождение оптимального пути трафика между узлами, причем в реальном времени. При этом учитывается, что решение должно быть адаптивным.

В области обеспечения информационной безопасности нейронные сети решают задачи, которые не доступны традиционным системам, ориентированным на заранее известные классы угроз. Также исследованы возможности технологий на базе нейросетей для идентификации и аутентификации, антивирусной защиты, обнаружения и предупреждения вторжений, управления рисками информационной безопасности, выявления уязвимостей и др. [6].

Перспективным направлением является применение нейронных сетей для кодирования и декодирования информации. Первоочередной является задача обработки речевой информации и изображений.

Нейросети можно использовать и в любых других сферах деятельности человека. Главное – давать им задачи, которые уже решал человек, и обучать с помощью качественных данных. Нейросети могут решать задачи вместо человека или вместе с ним. Использование нейросетей снижает вероятность ошибок, но не избавляет от них полностью.

Искусственные нейронные сети – это перспективная и востребованная область науки. С развитием они всё больше будут проникать почти во все сферы нашей жизни и решать всё больше задач повышенной сложности.

### Список литературы

1. История возникновения нейронных сетей. – URL: <https://neuronus.com/history/5-istoriya-nejronnykh-setej.html> (Дата обращения: 15.10.2022).
2. Вирста, Д.В. Проблемы создания искусственного интеллекта высокого уровня и пути их решения в XXI веке / Д.В. Вирста, Т.Б. Казиахмедов // Научно-практический электронный журнал «Аллея Науки». – 2018. – № 7(23) Alley-science.ru. – URL: [https://elibrary.ru/download/elibrary\\_35447626\\_45414101.pdf](https://elibrary.ru/download/elibrary_35447626_45414101.pdf) (Дата обращения: 15.10.2022).
3. Начало работы с нейронными сетями. – URL: <https://habr.com/ru/post/542386/> (Дата обращения: 16.10.2022).
4. Нейронные сети и их применение. – URL: <https://sibac.info/studconf/science/lxix/140894> (Дата обращения: 17.10.2022).
5. Нейронные сети и разновидности их применения. – URL: <https://sibac.info/studconf/tech/xcii/186616> (Дата обращения: 18.10.2022).

---

6. Нейронные сети в промышленности и информационных технологиях. – URL: <https://izron.ru/articles/razvitie-tekhnicheskikh-nauk-v-sovremennom-mire-sbornik-nauchnykh-trudov-po-itogam-mezhdunarodnoy-na-sektsiya-2-informatika-vychislitelnaya-tekhnika-i-upravlenie-spetsialnost-05-13-00/neyronnye-seti-v-promyshlennosti-i-informatsionnykh-tekhnologiyakh/> (Дата обращения: 18.10.2022).

### References

1. The history of the emergence of neural networks. – URL: <https://neuronus.com/history/5-istoriya-nejronnykh-setej.html> (Date of access: 10/15/2022).

2. Virsta, D.V. Problems of creating high-level artificial intelligence and ways to solve them in the XXI century / D.V. Virsta, T.B. Kaziakhmedov // Scientific and practical electronic journal «Avenue of Science». – 2018. – No. 7(23) Alley-science.ru. – URL: [https://elibrary.ru/download/elibrary\\_35447626\\_45414101.pdf](https://elibrary.ru/download/elibrary_35447626_45414101.pdf) (Date of access: 10/15/2022).

3. Getting Started with Neural Networks. – URL: <https://habr.com/ru/post/542386/> (Date of access: 10/16/2022).

4. Neural networks and their application. – URL: <https://sibac.info/studconf/science/lxix/140894> (Date of access: 10/17/2022).

5. Neural networks and varieties of their application. – URL: <https://sibac.info/studconf/tech/xcii/186616> (Date of access: 10/18/2022).

6. Neural networks in industry and information technologies. – URL: <https://izron.ru/articles/razvitie-tekhnicheskikh-nauk-v-sovremennom-mire-sbornik-nauchnykh-trudov-po-itogam-mezhdunarodnoy-na-sektsiya-2-informatika-vychislitelnaya-tekhnika-i-upravlenie-spetsialnost-05-13-00/neyronnye-seti-v-promyshlennosti-i-informatsionnykh-tekhnologiyakh/> (Date of access: 10/18/2022).

---

УДК 004.942

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-Computing Systems»  
E-mail: oslit@yandex.ru

## МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ «УМНЫЙ ДОМ» В СРЕДЕ CISCO PACKET TRASER

О.С. Литвинская

Представлен пример моделирования интеллектуальной информационной сети в пакете Cisco Packet Traser 8.1.0. За основу взята домашняя сеть произвольного вида с интеллектуальными устройствами (детектор движения, «умное окно», «умная лампочка», радиатор отопления, температурный датчик, датчик защиты от протечек воды, домофон, кондиционер, медиасистема, веб-камера). Дано подробное описание процесса добавления проводных и беспроводных устройств в интеллектуальную домашнюю сеть. Показана структурная схема взаимодействия «умных» компонентов. Сформирована совместная работа нескольких устройств.

*Ключевые слова:* моделирование, «умный дом», интернет вещей, датчики, пакет Cisco Packet Traser 8.1.0

## MODELING OF THE «SMART HOME» SYSTEM IN THE CISCO PACKET TRACER ENVIRONMENT

O.S. Litvinskaya

The article presents the modeling of an intelligent information network. It is based on an arbitrary type of home network with intelligent devices. The description of the simulation of the home network in the Cisco Packet Tracer 8.1.0 package is given. The network consists of such devices as a motion detector, a smart window, a smart light bulb, a heating radiator, a temperature sensor, a water leak protection sensor, an intercom, an air conditioner, a media system, a webcam. The paper provides a detailed description of adding wired and wireless devices to an intelligent home network. The structural scheme of interaction of «smart» components is shown. The collaboration of several devices has been formed.

*Keywords:* modeling, smart home, Internet of Things, sensors, Cisco Packet Traser 8.1.0

### Введение

Технология умного дома предполагает согласованную работу всего оборудования, увеличение срока эксплуатации бытовой техники, удобное управление с помощью смартфона или планшета, отсутствие абонентской платы, повышение уровня комфорта проживания, экономию ресурсов и снижение стоимости коммунальных услуг. «Умный дом» дает возможность минимизировать риски пожара, кражи, затопления и прочих неприятных ситуаций, поэтому вопрос моделирования подобных систем считается актуальным.

### Основная часть

Система умного дома может содержать массу различных устройств, их выбор зависит от личных предпочтений. Однако есть обязательный элемент, который объединяет все гаджеты в доме, связывает их в одну сеть и позволяет управлять ими

удаленно. Таким устройством является контроллер. Остальная часть умного дома собирается исходя из предпочтений. Это могут быть устройства нескольких групп:

– датчики и термостаты, которые контролируют влажность, температуру, задымление. Если в одном из них произойдут внеплановые изменения, сигнал передается контроллеру, и далее владелец получает на смартфон сообщение о неполадках. Такая система позволяет оперативно реагировать на изменения и предотвращать проблемы;

– исполнительное оборудование, включающее в себя бытовые устройства: кондиционеры, розетки, выключатели и т. д. – и реле, обеспечивающее основную часть автоматизации, входящее в состав системы теплого пола, освещения, управления воротами, а также полива сада. Оборудование получает команды от контроллера удаленно и выполняет их.

Таким образом, система «умный дом» может состоять из разных элементов, и только потребителям решать, какие устройства будут входить в него.

Нами была смоделирована работа следующих бытовых устройств: детектор движения, «умное окно», «умная лампочка», радиатор отопления, температурный датчик, датчик защиты от протечек воды, домофон, кондиционер, медиасистема, веб-камера, смартфон. За основу взята система «умного дома», представленная на рис. 1 [1, 2].

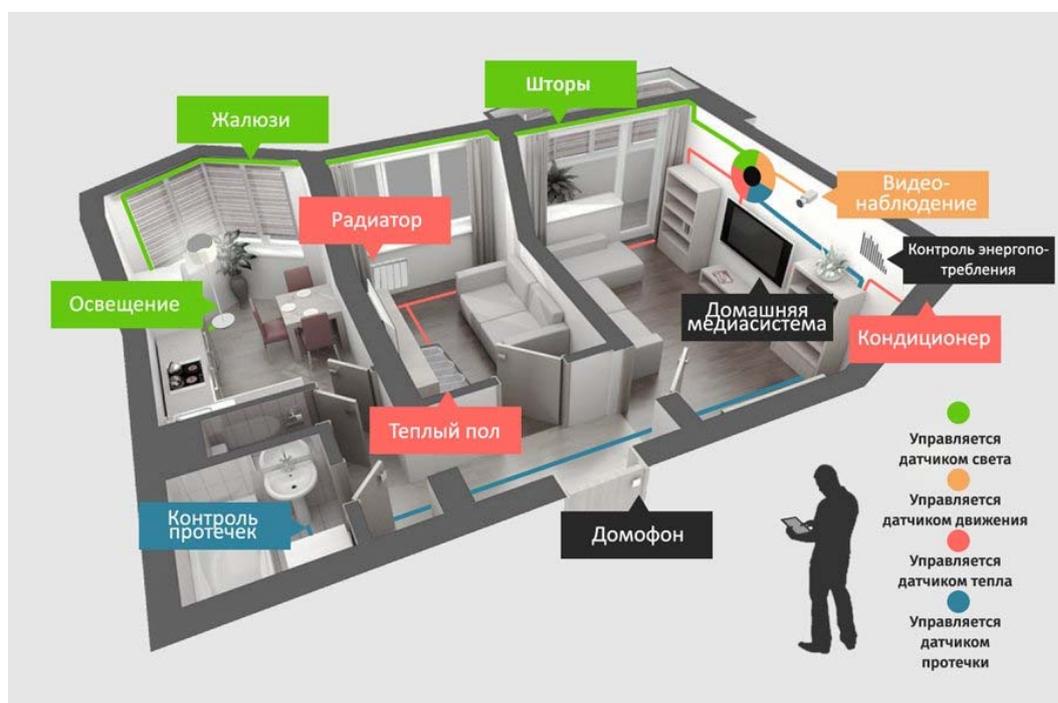


Рис. 1. Выбранная система «умного дома»

Для моделирования подобной схемы необходимо выполнить подключение устройств к сети. Для этого нужно выбрать из оконечных устройств значок Home и вывести на рабочую область все требуемые устройства (рис. 2) [3].



Рис. 2. Панель инструментов устройств Home

Центральным устройством управления интеллектуальной домашней системы будет контроллер Home Gateway [4]. Физический вид устройства в пакете моделирования представлен на рис. 3.

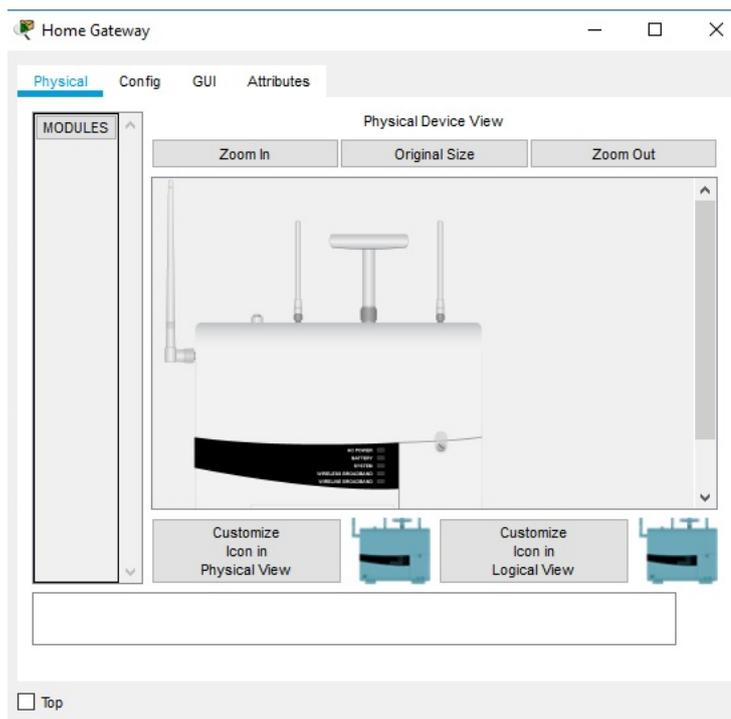


Рис. 3. Физический вид контроллера в пакете Cisco Packet Tracer

Далее во вкладке конфигурации Config устанавливаются имя, IP-адрес 192.168.25.1 и беспроводные настройки, показанные на рис. 4.

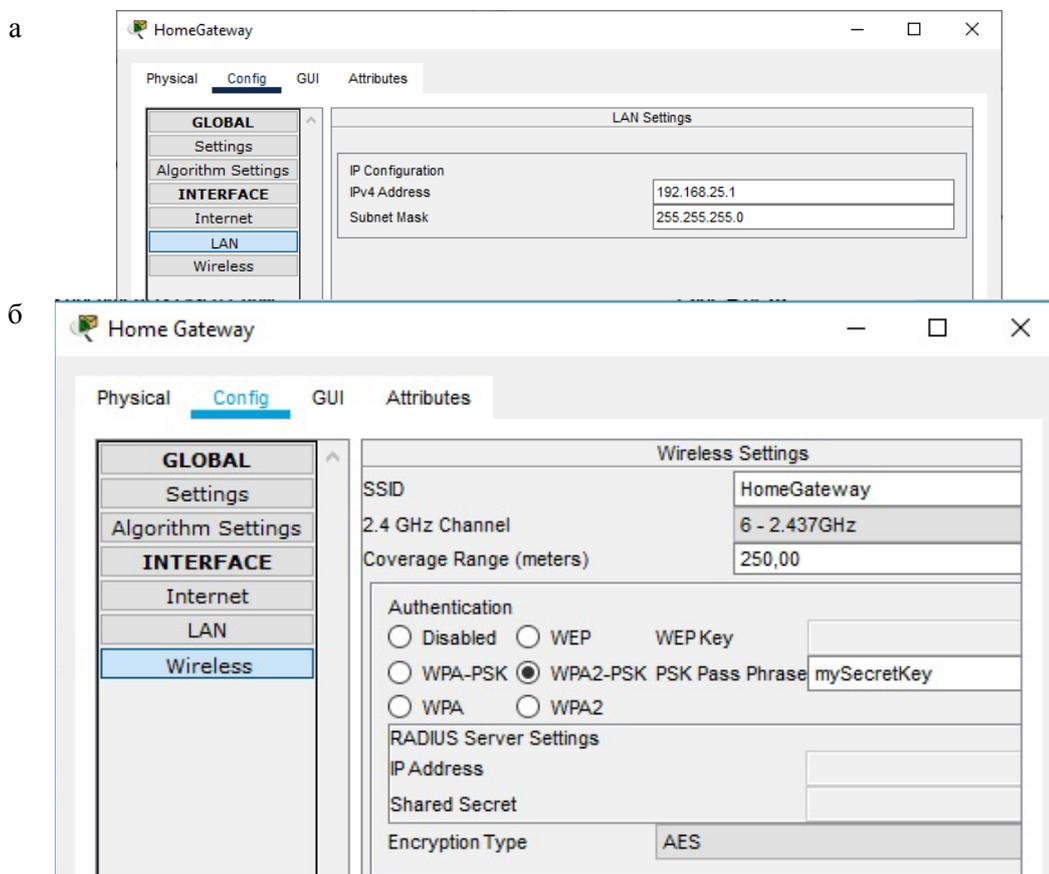


Рис. 4. Установка настроек контроллера:  
а – установка IP-адреса; б – установка беспроводных настроек

Каждое добавленное устройство следует активировать и соединить кабелем с устройством управления по доступному интерфейсу Ethernet. При правильном соединении установится связь. Логическая схема моделируемой интеллектуальной системы показана на рис. 5, физическое размещение бытовых устройств на моделируемой системе представлено на рис. 6 [2].

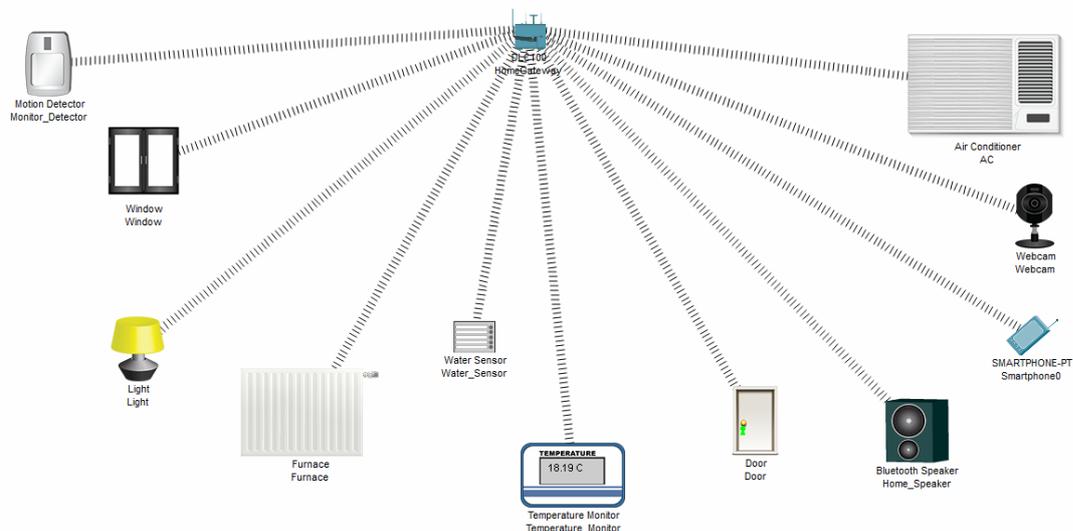


Рис. 5. Логическая схема системы «умный дом»

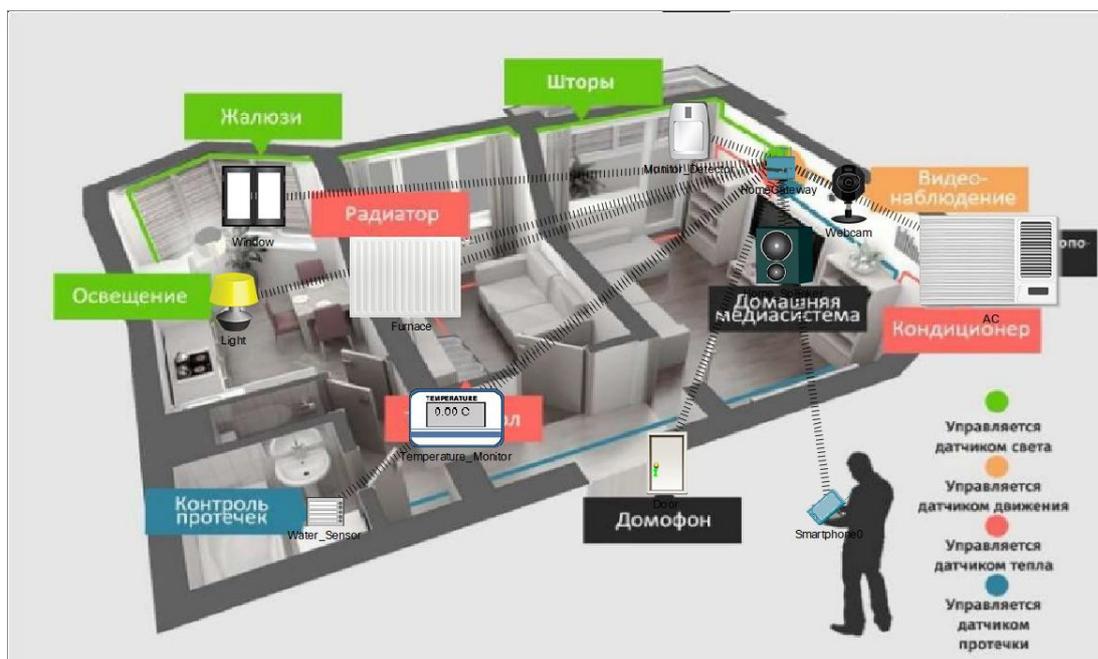


Рис. 6. Физическая схема информационной системы «Умный дом»

Последующие настройки подключения устройств к контроллеру заключаются в установке сервера IoT на домашний шлюз. Ряд подобных настроек представлен на рис. 7 [5].

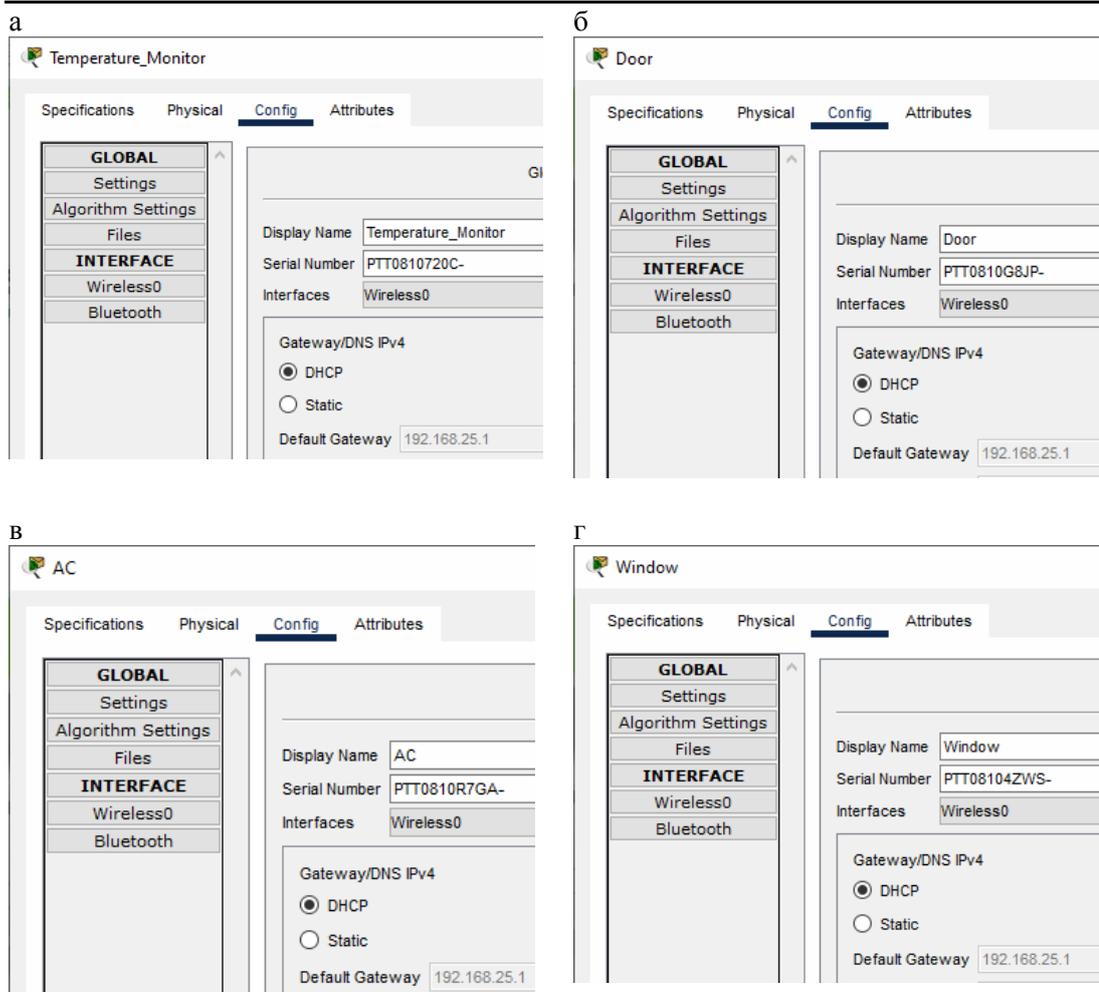


Рис. 7. Настройка датчиков системы «Умный дом»: а – температуры; б – двери; в – кондиционера; г – окна

При открытии смартфона как устройства с которого будет вестись управление, можно видеть добавленные в сеть бытовые устройства и приборы (рис. 8).

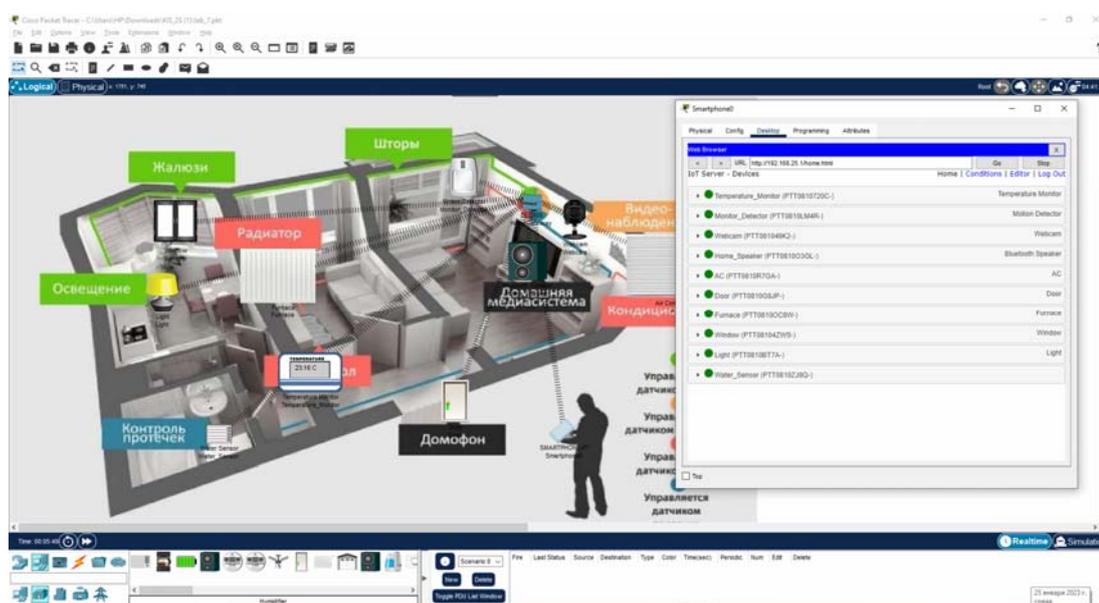


Рис. 8. Подключенные в сеть устройства

Следующим шагом следует выполнить настройку окружающей среды (рис. 9).

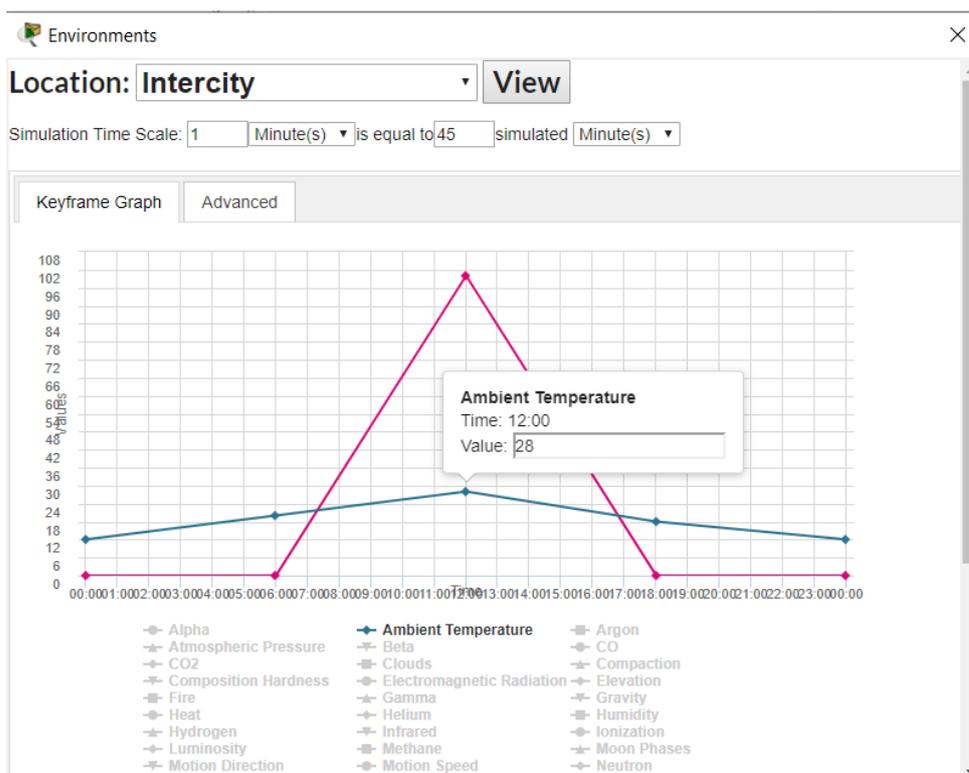


Рис. 9. Настройка окружающей среды

Настройка совместно работающих устройств зависит от параметров окружающей среды и работы других устройств. Выполним моделирование, например, датчика температуры и радиатора, который будет включаться при температуре ниже 10°C и выключаться при температуре выше 25 °C. Для этого войдем с помощью браузера смартфона в Home Gateway и в разделе «Conditions» добавим условия (рис. 10). Также добавим условия для включения и выключения камеры, если будет срабатывать детектор движения (рис. 11).

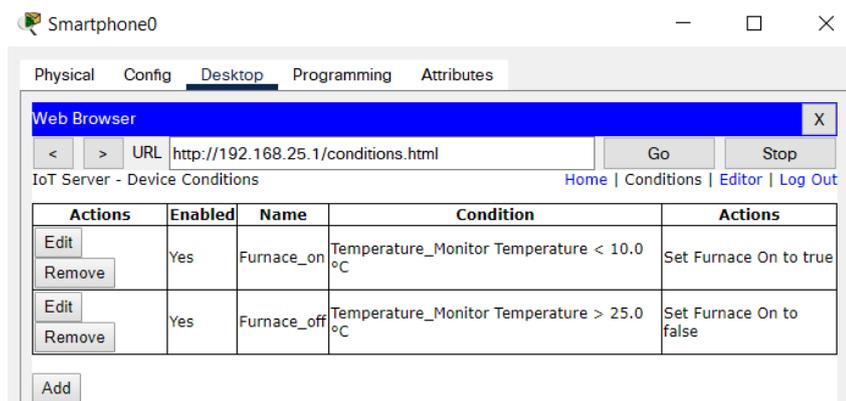


Рис. 10. Связь совместной работы датчика температуры и радиатора

Edit Remove	Yes	Webcam_on	Monitor_Detector On is true	Set Webcam On to true
Edit Remove	Yes	Webcam_off	Monitor_Detector On is false	Set Webcam On to false

Рис. 11. Связь совместной работы детектора движения и камеры

---

Подобным образом настраиваются все взаимосвязи бытовых устройств. Объединение устройств в единую систему позволяет наглядно изучать и понимать логику работы всей системы «Умного дома».

Результаты:

1. Использование пакета Cisco Packet Tracer в полной мере позволяет наглядно представить исследуемую интеллектуальную систему, построить логическую и физическую схемы сети.

2. Моделирование позволяет отследить, отладить взаимосвязи компонент путем добавления и редактирования условий, а также внести поправки в работу бытовых устройств при изменении условий окружающей среды.

3. Моделирование позволяет сократить время на реализацию и отладку реальной системы умного дома.

### Список литературы

1. Бони, Дж. Руководство по Cisco IOS / Дж. Бони. – СПб.: Издательство «Русская редакция», 2008. – С. 784.

2. Ли, П. Архитектура интернета вещей / П. Ли. – М.: Литрес. 2019. – С.484.

3. Васильева, Л.Н. Моделирование инфокоммуникационных сетей на основе платформы Cisco Packet Tracer / Л.Н. Васильева, И.И Ильина // III Международная научно-практическая конференция. САПР и моделирование в современной электронике: сборник научных трудов (Брянск, 24–25 октября 2019 г.). – Брянск, 2019. – С. 258–259.

4. Трещев, И.А. Эмуляторы и симуляторы сетей ЭВМ / И.А. Трещев, И.А. Кожин. – Екатеринбург: Издательские решения, 2020. – 166 с.

5. Пахаев, Х.Х. Моделирование концепции «умный дом» в виртуальной среде Cisco Packet Tracer / Х.Х. Пахаев, Т.Г. АйгуMOV, Ф.М.Абдулмукминова // Инженерный вестник Дона. – 2023. – №3. – URL: <http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2023/8243>

### Referances

1. Boni, J. Guide to Cisco IOS / J. Boni. – SPb.: Publishing house «Russian edition», 2008. – p. 784.

2. Lee, P. Architecture of the Internet of Things / P. Lee. – M.: Litres, 2019. – P.484.

3. Vasilyeva, L.N. Modeling of infocommunication networks based on the Cisco Packet Tracer platform / L.N. Vasilyeva, I.I. Ilyina // III International Scientific and Practical Conference. CAD and modeling in modern times: a collection of scientific papers (Bryansk, October 24–25, 2019). – Bryansk, 2019. – P. 258–259.

4. Treschev, I.A. Emulators and simulators of computer networks: For students of technical specialties / I.A. Treshchev, I. A. Kozhin. – Ekaterinburg: Publishing solutions, 2020. – 166 p.

5. Pakhaev, Kh.Kh. Modeling the concept of a smart home in a virtual environment Cisco Packet Tracer / Kh.Kh. Pakhaev, T.G. Aigumov, F.M. Abdulkumminova // Engineering Bulletin of the Don. – 2023. – No. 3. – URL: <http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2023/8243>