

Научно-практический сетевой журнал
Выходит 2 раза в год

Учредитель и издатель
Пензенский государственный
университет архитектуры
и строительства

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

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

Редакторы: М.А. Сухова,
Н.Ю. Шалимова

Дизайн обложки Л.А. Васин

Компьютерная верстка
Н.А. Сазонова

Перевод О.В. Гринцова

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

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

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

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

ВЕСТНИК ПГУАС: СТРОИТЕЛЬСТВО, НАУКА И ОБРАЗОВАНИЕ 2(11)/2020

Содержание

| | |
|---|----|
| СТРОИТЕЛЬСТВО. АРХИТЕКТУРА..... | 3 |
| Береговой А.М., Басова М.А. ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ ОБЪЕМНО- ПЛАНИРОВОЧНЫЕ РЕШЕНИЯ ЗДАНИЙ | 3 |
| Береговой В.А., Басова М.А., Языкеев А.В. УТИЛИЗАЦИЯ ОТХОДОВ ГАЗОБЕТОНА В ПРОИЗВОДСТВЕ ГИПЕРПРЕССОВАННЫХ МАТЕРИАЛОВ | 8 |
| Береговой В.А., Лавров И.Ю., Горохова А.А., Дубинин Д.А. ТЕХНИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РЕАЛИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИИ 3D-ПЕЧАТИ КЕРАМИЧЕСКИМИ МАССАМИ | 15 |
| Гарькин И.Н. ИССЛЕДОВАНИЕ УЗЛОВОГО СОПРЯЖЕНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ КОЛОННЫ И ПЕРЕКРЫТИЯ | 20 |
| Ерошкина Н.А., Коровкин М.О., Саденко С.М., Кирьянова А.А. ВЛИЯНИЕ СОСТАВА ГЕОПОЛИМЕРНОГО ВЯЖУЩЕГО НА ОСНОВЕ ОТСЕВА ДРОБЛЕНИЯ ГРАНИТА НА СВОЙСТВА МЕЛКОЗЕРНИСТОГО БЕТОНА | 27 |
| Кислицына С.Н., Сорокин Д.С. ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИКИ ОТВЕРЖДЕНИЯ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ ОТХОДОВ ПЕНОПОЛИСТИРОЛА | 34 |
| Логанина В.И., Куимова Е.И. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СТОЙКОСТИ ЗАЩИТНО-ДЕКОРАТИВНЫХ ПОКРЫТИЙ..... | 39 |
| Родин А.И., Ермаков А.А. ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПЕНОСТЕКЛОКЕРАМИКИ НА ОСНОВЕ КРЕМНИСТЫХ ПОРОД..... | 49 |
| Родин А.И., Кравчук А.С. ХИМИЧЕСКАЯ СТОЙКОСТЬ ПОРИСТОЙ СТЕКЛОКЕРАМИКИ НА ОСНОВЕ КРЕМНИСТЫХ ПОРОД..... | 56 |
| Снадин Е.В., Фролов М.В. ПРИМЕНЕНИЕ СИЛИЦИТОВОЙ ГАЗОКЕРАМИКИ В ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЯХ ЖИЛОГО ЗДАНИЯ..... | 61 |

| | |
|--|--|
| Тарасева Н.И., Грачева Ю.В., Володин А.С. ОБЗОР МЕТОДИКИ ПРИМЕНЕНИЯ ПРИБОРОВ КОМПРЕССИОННОГО СЖАТИЯ И ОДНОПЛОСКОСТНОГО СРЕЗА В ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ МАГИСТРАНТОВ 67 | СТАНДАРТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ 86 |
| Шитова И.Ю., Моськин Я.Ю. МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ СОЗДАНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ПРИМЕРЕ СЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ..... 73 | Баукова Н.С., Максимова И.Н. РАЗРАБОТКА СТРУКТУРНОЙ СХЕМЫ ПРОЦЕССА «УПРАВЛЕНИЕ СРЕДСТВАМИ ИЗМЕРЕНИЯ» ДЛЯ ПРЕДПРИЯТИЙ НЕФТЕХИМИЧЕСКОЙ И НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ 86 |
| Хвастунов В.Л., Махамбетова К.Н., Колесников И.В., Телегин Я.И., Лавров И.Ю. ВЛИЯНИЕ ОДНОРОДНОСТИ СВОЙСТВ ГРАНУЛ КЕРАМЗИТА ПРИ ОСЕВОМ И ОБЪЕМНОМ СЖАТИИ НА ДОЛГОВЕЧНОСТЬ КЕРАМЗИТОБЕТОНА..... 80 | ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ НАУКИ 93 |
| | Кузина В.В., Глумскова И.О. ОБ ОСОБЕННОСТЯХ ПРИМЕНЕНИЯ ОПЕРАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ASTRA LINUX..... 93 |
| | Пышкина И.С., Рыжов А.Д. РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО СРЕДСТВА СОВМЕСТНОГО РЕДАКТИРОВАНИЯ ТЕКСТА 97 |

Contents

| | |
|--|---|
| CONSTRUCTION. ARCHITECTURE 3 | Snadin E.V., Frolov M.V. APPLICATION OF SILICITE GAS CERAMICS IN THE ENCLOSING STRUCTURES OF A RESIDENTIAL BUILDING..... 61 |
| Beregovoy A.M., Basova M.A. ENERGY EFFICIENT SPACE-PLANNING SOLUTIONS OF THE BUILDINGS..... 3 | Taraseeva N.I., Gracheva Yu.V., Volodin A.S. REVIEW OF METHODS FOR APPLYING COMPRESSION AND SINGLE-PLANE SLICE DEVICES IN RESEARCH ACTIVITIES OF UNDERGRADUATES..... 67 |
| Beregovoy V.A., Basova M.A., Zazykeyev A.V. UTILIZATION OF GAS CONCRETE WASTE PRODUCTION OF HYPERPRESSED MATERIALS 8 | Shitova I.Yu., Moskin Ya.Yu. METHODOLOGICAL PRINCIPLES OF CREATION BUILDING MATERIALS ON THE EXAMPLE OF SULFUR COMPOSITES..... 73 |
| Beregovoy V.A., Lavrov I.Yu., Gorokhova A.A., Dubinin D.A. TECHNICAL ASPECTS OF TECHNOLOGY OF IMPLEMENTATION 3D PRINTING WITH CERAMIC MASSES..... 15 | Khvastunov V.L., Makhambetova K.N., Kolesnikov I.V., Telegin Ya.I., Lavrov I.Yu. INFLUENCE OF UNIFORMITY OF EXPANDED CLAY GRANULES PROPERTIES UNDER AXIAL AND VOLUMETRIC COMPRESSION ON THE DURABILITY OF EXPANDED CLAY CONCRETE 80 |
| Garkin I.N. INVESTIGATION OF INTERFACE NODES OF A CONCRETE COLUMN AND A FLOOR..... 20 | STANDARDIZATION AND QUALITY MANAGEMENT..... 86 |
| Eroshkina N.A., Korovkin M.O., Sadenko S.M., Kiryanova A.A. THE INFLUENCE OF GEOPOLYMER BINDER COMPOSITION ON CRUSHED GRANITE SCREENINGS ON THE PROPERTIES OF FINE CONCRETE..... 27 | STRUCTURAL SCHEME «MEASUREMENT MANAGEMENT» FOR ENTERPRISES OF PETROCHEMICAL AND OIL AND GAS INDUSTRIES 86 |
| Kislitsyna S.N., Sorokin D.S. THE STUDY OF THE KINETICS OF CURING PROTECTIVE COATINGS BASED ON STYROFOAM WASTE 34 | PEDAGOGICAL SCIENCES 93 |
| Loganina V.I., Kuimova E.I. FORECASTING THE RESISTANCE OF PROTECTIVE-DECORATIVE COATINGS..... 39 | Kuzina V.V., Glumskova I.O. FEATURES OF USING ASTRA LINUX OPERATING SYSTEM..... 93 |
| Rodin A.I., Ermakov A.A. THERMOPHYSICAL PROPERTIES OF SILICA- BASED FOAM GLASS CERAMIC..... 49 | Pyshkina I.S., Ryzhov A.D. DEVELOPMENT OF A COLLABORATIVE TEXT EDITING SOFTWARE 97 |
| Rodin A.I., Kravchuk A.S. CHEMICAL RESISTANCE OF SILICEOUS POROUS GLASS CERAMICS 56 | |

СТРОИТЕЛЬСТВО. АРХИТЕКТУРА

CONSTRUCTION. ARCHITECTURE

УДК [72+69] : 620.91 – 049.35

*Пензенский государственный университет
архитектуры и строительства*

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

Береговой Александр Маркович,
доктор технических наук, профессор
кафедры «Городское строительство
и архитектура»

Басова Маргарита Алексеевна,
магистрант
E-mail: gsia@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 Alexandr Marcovich,
Doctor of Sciences, Professor of the department
«Urban construction and Architecture»

Basova Margarita Alekseevna,
Undergraduate student
E-mail: gsia@pguas.ru

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ ОБЪЕМНО- ПЛАНИРОВОЧНЫЕ РЕШЕНИЯ ЗДАНИЙ

А.М. Береговой, М.А. Басова

Приведен анализ опубликованных результатов исследований по разработке энергоэффективных объемно-планировочных решений зданий. С использованием результатов проведенных натурных обследований изучено влияние на тепловую эффективность жилых зданий ширины корпуса и общего термосопротивления наружных стен. Дана приближенная оценка тепловой потребности здания, сблокированного из отдельных объектов, а также для случая переноса подсобных помещений в подземный этаж.

Ключевые слова: энергоэффективность здания, объемно-планировочные решения, тепловая потребность, тепловые потери, блокирование зданий, подземное пространство здания

ENERGY EFFICIENT SPACE-PLANNING SOLUTIONS OF THE BUILDINGS

A.M. Beregovoy, M. A. Basova

The analysis of the published research results on the development of energy-efficient space-planning solutions of buildings is given. Using the results of field survey of buildings, the effect of the width of the building on the heat efficiency of residential buildings and the general thermal resistance of the external walls was studied. An approximate estimate of the heat demand of a building, blocked from separate objects, and for the case of utility rooms transfer to the underground floor is given.

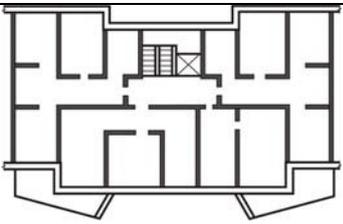
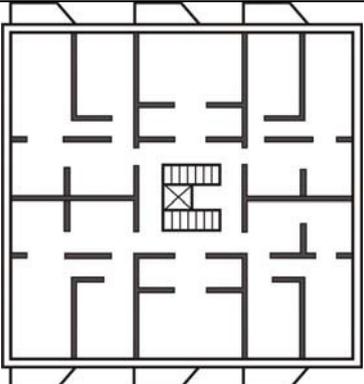
Keywords: energy efficient buildings, space-planning solutions, heat demand, heat loss, blocking of buildings, underground space of the building

Анализ опубликованных результатов исследований по разработке энергоэффективных объемно-планировочных решений зданий показывает, что наибольший эффект в уменьшении тепловых потерь обеспечивается путем оптимизации их геометрических характеристик.

В [1] приведены результаты исследований влияния объемно-планировочного решения здания на величину его теплоэнергетических и экологических показателей. Значительное снижение удельного расхода тепловой энергии и приведенных затрат на 1 м² полезной площади наблюдается при увеличении ширины корпуса здания (табл. 1).

Т а б л и ц а 1

Технико-экономические показатели планировочных решений жилых домов разной ширины (по данным ЦНИИЭПжилища)

| Планировочная схема | Ширина корпуса, м | Удельный периметр стен | Технико-экономические показатели на 1 м ² общей площади квартиры, % | |
|---|-------------------|------------------------|--|----------------------------------|
| | | | приведенные затраты | снижение удельных расходов тепла |
|  | 12,3 | 0,24 | 100 | 100 |
|  | 18,0 | 0,14 | 85,4 | 82 |

Из табл.1 видно, что с увеличением ширины корпуса с 12,3 до 18 м и уменьшением удельного периметра наружных стен с 0,24 до 0,14 величина удельного расхода тепла и приведенные затраты снижаются соответственно на 18 и 14,6 %.

Высота здания также значительно влияет на удельный расход тепла. По данным табл.2, с увеличением этажности данная величина снижается, а максимальные ее значения имеют одноэтажные здания.

Т а б л и ц а 2

Контрольные показатели удельных расходов тепла на 1 м² полезной площади общественных зданий, Вт/м²

| Расчетная разность температур ($t_b - t_n$), °С | Количество этажей | | | | | |
|--|-------------------|-----|-----|-----|----|----|
| | 1 | 3 | 5 | 12 | 17 | 22 |
| До 25 | 143 | 102 | 97 | 90 | 88 | 87 |
| 25...44 | 156 | 111 | 104 | 97 | 92 | 91 |
| 44...49 | 161 | 116 | 108 | 102 | 98 | 97 |

В практике проектирования энергоэффективных объемно-планировочных решений часто используют два показателя: отношение площади наружных ограждений к ота-

пливаемому объему здания или к его развернутой площади. Чем меньше будут эти показатели, тем меньше теплотери здания. Величина первого показателя составляет: для одноэтажного здания – 1,1, для девятиэтажного – 0,32. Значение второго показателя равно: для малоэтажных производственных зданий – 1,5...2, а для жилых – 0,8...1.

Следует также отметить, что с увеличением ширины здания не наблюдается пропорционального уменьшения его тепловых потерь. Так, на каждый метр уширения корпуса в диапазоне 20...22 м скорость уменьшения удельного расхода тепла в 5 раз меньше, чем при ширине 11,2...20 м.

Для оценки уровня энергоэффективности эксплуатируемых жилых зданий в г. Пензе были выполнены натурные обследования с целью определения зависимости их тепловой эффективности от объемно-планировочного решения, а также от сопротивления теплопередаче наружных стен. Находилась величина тепловых потерь пятиэтажного жилого здания с объемом отопления 7400 м³. Расчетным путем были определены его теплоэнергетические показатели в зависимости от ширины корпуса, позволяющие оценить тепловую эффективность на этапе проектирования (табл. 3).

Т а б л и ц а 3

Повышение, %, общего расхода тепловой энергии Q на отопление здания в зависимости от ширины здания L , м, и площади наружных ограждений A_e^{sum} , м²

| L (% повышения) | A_e^{sum} (% повышения) | Q (% повышения) |
|-------------------|---------------------------|-------------------|
| 11,2 | 2733 | 100 |
| 14,0 (20,0) | 2556 (6,2) | 106,3 |
| 16,0 (30) | 2475 (9,4) | 109,7 |
| 18,0 (37,8) | 2424 (11,3) | 110,8 |
| 20,0 (44) | 2399 (12,2) | 112,0 |
| 22,0 (49) | 2379 (13,0) | 112,6 |

Расчет подтвердил опубликованные результаты исследований, свидетельствующие о значительном снижении скорости роста тепловой эффективности здания в пределах существенного увеличения ширины его корпуса. Согласно табл.3, при увеличении ширины здания с 11,2 до 14 м показатель Q повышается на 20%, тогда как в диапазоне 20...22 м его рост составляет всего 0,55 %. Вместе с тем расчет показал, что то же самое наблюдается в диапазоне относительно больших величин сопротивления теплопередаче R наружных ограждений. Так, скорость уменьшения удельной величины на отопление с каждой единицей роста показателя R наружной стены в диапазоне его значений 3,0...3,5 в 4 раза меньше, чем в пределах значений 0,8...3,0.

Как известно, значительное влияние на энергоэффективность здания оказывает его форма, причем наиболее компактным из распространенных типов зданий является здание кубической формы. Если принять за эталон компактного решения здание такой формы, то можно оценить энергоэффективность других зданий, имеющих аналогичный объем, используя отношение

$$f = \frac{(S_{\text{нп}}/V)_{\text{зд}}}{(S_{\text{нп}}/V)_{\text{эт}}} \quad \text{или} \quad f = \frac{(S_{\text{нп}})_{\text{зд}}}{(S_{\text{нп}})_{\text{эт}}},$$

где $S_{\text{нп}}$ – площадь наружных ограждений здания, м²; V – отапливаемый объем здания, м³.

В [2] приведена оценка компактности нескольких вариантов застройки с одним и тем же объемом размещения квартир, равным 56160 м³ (табл. 4).

Как следует из результатов расчета, 3-й вариант застройки территории в виде одного здания, являющийся наиболее компактным из-за наименьшей величины f , имеет минимальные тепловые потери при прочих равных условиях. При сравнительно небольшой площади наружных ограждений этот вариант отличается также наименьшей материалоемкостью и стоимостью наружных ограждающих конструкций. У вто-

рого и третьего вариантов эти показатели больше, чем у первого, соответственно на 14 и 23 %.

Т а б л и ц а 4

Компактность вариантов застройки зданий

| Варианты застройки | Размеры, м | $S_{\text{нп}}, \text{м}^2$ | Показатель f |
|--------------------|----------------|-----------------------------|----------------|
| 1) 8 зданий | 12×18×32,5 | 19056 | 2,17 |
| 2) 2 здания | 12×18×130 | 16464 | 1,87 |
| 3) 1 здание | 12×24×195 | 14616 | 1,66 |
| Здание–эталон | 38,3×38,3×38,3 | 8799 | |

Значительное изменение геометрических параметров зданий и существенный энергосберегающий эффект наблюдаются при их блокировании. Сам принцип блокирования многочисленных отдельно стоящих объектов в высотное здание находится в тренде реализации идеи по созданию сверхплотной застройки как важного звена города будущего [3, 4]. Помимо большого уменьшения удельного расхода тепла на отопление такого города-дома, важным преимуществом блокирования малоэтажной проектируемой застройки считается сохранение и улучшение экологии окружающей среды, уменьшение роли транспорта при высокой плотности квартир в создаваемом городе-доме.

Кроме обеспечения высокой энергетической эффективности способ блокирования объектов позволяет значительно снизить площадь застраиваемой территории и стоимость строительства.

Анализ экономии тепловой энергии при блокировании позволил определить приближенный теплоэнергетический эффект, достигаемый благодаря уменьшению площади теплоотдающей поверхности наружных ограждений, с использованием формул [2]:

$$i = S_o^{\text{бп}} / S_o, \quad (1)$$

$$i = S_o^{\text{бп}} / S_o = 1 - n / 3N, \quad (2)$$

$$i = 1 - 2S_n / S_o, \quad (3)$$

где i – коэффициент блокирования, принятый в предположении, что коэффициент теплопередачи всех наружных ограждений одинаков; $S_o^{\text{бп}}$ и S_o – соответственно площади наружных ограждений сблокированного здания и отдельно стоящих объектов; N – число отдельных объектов кубической формы; n – число вновь образованных внутренних граней параллелепипеда при блокировании объектов.

Формула (2) используется при оценке энергосберегающего эффекта для объектов кубической формы, а формула (3) – для объектов прямоугольной формы. Так, для девятиэтажного здания, сблокированного, например, из одинаковых объектов (81 шт.), имеющих квадратную форму в плане, тепловые потери могут снизиться более чем на 70%.

Уменьшение тепловой потребности проектируемого здания можно также обеспечить путем использования способа по переносу части специальных и подсобных помещений, не требующих нормативной температуры внутреннего воздуха, в оборудованные подземные (подвальные) ячейки [5]. Энергосберегающий эффект данного способа заключается в том, что при таком переносе уменьшаются надземная площадь здания и сумма на оплату ее отопления (табл. 5).

Т а б л и ц а 5

Энергосбережение при переносе подсобных помещений жилой секции ширококорпусного здания в подвальное пространство

| | |
|---|-------|
| Общая площадь секции, м^2 | 186,7 |
| Площадь переносимых помещений, м^2 | 23,0 |
| Эффект уменьшения тепловой потребности, % | 9,3 |

Подогрев воздушной среды заглубленных таким образом помещений осуществляется массивом грунта, окружающим подвальное помещение и представляющим собой, по существу, мощный низкопотенциальный аккумулятор тепловой энергии.

Выводы. На конкретном примере жилой секции длиной 11,4 м и шириной 17,7 м показано, что перенос части вспомогательной площади в подземный этаж ширококорпусного дома может обеспечить уменьшение тепловой потребности этой секции на 9 %.

Список литературы

1. Береговой, А.М. Теплоэнергетические и экологические показатели при определении тепловых потерь здания / А.М. Береговой, М.А. Дерина // Вестник ПГУАС. – 2016. – №2. – С. 49–52.
2. Береговой, А.М. Энергоэкономичные и энергоактивные здания в архитектурно-строительном проектировании / А.М. Береговой, А.В. Гречишкин, В.А. Береговой. – Пенза: ПГУАС, 2012. – 200 с.
3. Город будущего – город-дом. – URL: trend.club.ru (дата обращения: 17.09.2019).
4. Береговой, А.М. Сверхплотная городская застройка. Энерго- и ресурсосбережение и экология в зданиях / А.М. Береговой // Региональная архитектура и строительство. – 2019. – №4. – С. 223–226.
5. Береговой, А.М. Использование тепла подземных помещений в энергосбережении / А.М. Береговой, М.А. Дерина // Региональная архитектура и строительство. – 2016. – №1. – С. 85–89.

References

1. Beregovoy, A.M. Thermal energy and environmental indicators in determining the thermal losses of a building / A.M. Beregovoy, M.A. Derina // Bulletin of PGUAS. – 2016. – №2. – P. 49–52.
2. Beregovoy, A.M. Energy-efficient and energy active buildings in architecture and building engineering / A.M. Beregovoy, A.V. Grechishkin, V.A. Beregovoy. – 3-e edition., revised and enlarged. – Penza: State University of Architecture and Construction, 2012. – 200 p.
3. City of the future-city-home. – URL: trend.club.ru (circulation date 09/17/2019).
4. Beregovoy, A.M. Super dense city building. Energy and resource savings and ecology in buildings / A.M. Beregovoy // Regional architecture and engineering. – 2019. – No.4. – P. 223–226.
5. Beregovoy, A.M. Using of underground rooms heat in energy saving / A.M. Beregovoy, M.A. Derina, B.A. Beregovoy, A.V. Maltsev // Regional architecture and engineering. – 2016. – No.1. – P. 85–89.

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»

Басова Маргарита Алексеевна,
магистрант

Языкеев Алексей Владимирович,
аспирант

E-mail: techbeton@pguas.ru

*Penza State University of Architecture
and Construction*

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

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

Basova Margarita Alekseevna,
Undergraduate student

Yazykeyev Aleksey Vladimirovich,
Postgraduate student

E-mail: techbeton@pguas.ru

УТИЛИЗАЦИЯ ОТХОДОВ ГАЗОБЕТОНА В ПРОИЗВОДСТВЕ ГИПЕРПРЕССОВАННЫХ МАТЕРИАЛОВ

В.А. Береговой, М.А. Басова, А.В. Языкеев

С использованием тонкомолотых отходов автоклавного газобетона разработаны составы гиперпрессованных стеновых материалов. Установлены оптимальные режимы прессования и твердения разработанных составов. Показан характер влияния пластифицирующих добавок на формирование комплекса физико-механических свойств материалов с различной влажностью.

Ключевые слова: отходы газобетона, гиперпрессование, составы, свойства, корректирующие добавки

UTILIZATION OF GAS CONCRETE WASTE PRODUCTION OF HYPERPRESSED MATERIALS

V.A. Beregovoy, M.A. Basova, A.V. Yazykeyev

Compositions of hyperpressed wall materials have been developed using finely ground autoclave aerated concrete waste. Optimal modes of pressing and hardening of the developed compositions are established. The influence of plasticizing additives on the formation of a complex of physical and mechanical properties of materials with different humidity is shown.

Keywords: gas concretes waste, hyperpressing, compositions, properties, corrective additives

Актуальность исследований по утилизации отходов производства автоклавного газобетона производства «РОСБК» (п. Чаадаевка, Пензенская область) определяется наличием отходов (2...3 % от объема) таких изделий, что обусловлено особенностями работы технологической линии. Согласно технологическому регламенту в процессе заливки сырьевой массы предусматривается припуск на прибортовой слой, удаляемый по окончании автоклавирования. Указанный слой формируется при нарезке сырца горизонтальными струнами с целью сохранения целостности отвержденных газобетонных блоков при их окончательном разделении.

Минералогическая основа отходов газобетона (ОГБ) представлена гидросиликатами кальция различной степени основности, а также полиморфными модификациями кварца. Принимая во внимание гидравлическую активность и химическое сродство с новообразованиями цементного камня, можно предположить, что тонкомолотые отходы – это готовые центры кристаллизации, которые благоприятствуют формированию комплекса улучшенных физико-механических показателей материала.

Использование кристаллогидратов – аналогов продуктов гидратации портланд-цемента – в качестве кристаллических затравок для повышения прочности цемента рассматривалось в ряде работ [1]. Их анализ указывает на противоречивость полученных данных об их влиянии на прочность цементного камня. В качестве возможной причины приводится склонность отдельных кристаллических затравок к растворению и последующей перекристаллизации в среде твердеющего цемента. Увеличение прочности цементного камня может быть достигнуто за счет эффекта микроармирования структуры при введении затравок с игольчатым или длиноволокнистым габитусом кристаллов [2].

Развитая пористость ОГБ вызывает необходимость решения задачи снижения водопоглощения готовых изделий [3]. Известно, что способ гиперпрессования позволяет получать материалы с более плотной структурой. Особенность данного способа заключается в использовании малоувлажненных (8...10% по массе) цементно-минеральных сырьевых смесей и повышении давления прессования сырца до 20...30 МПа. Согласно опубликованным данным [4], получаемые изделия существенно превосходят по качеству цементные изделия, формируемые другими способами. Улучшение достигается в результате дополнительного уплотнения микроструктуры материала, а общее сближение минеральных частиц способствует их более глубокому физико-химическому взаимодействию при твердении [5]. Влияние пористости на прочность выражается известной зависимостью:

$$R_{ск} = R \cdot X^n,$$

где R – прочность затвердевшего цементного геля; X – отношение объема геля к сумме его объема и капиллярного пространства; n – коэффициент вида цемента ($n=2,6...3$).

С целью уменьшения пористости образцов водотвердое отношение формовочной смеси минимизировали путем введения пластификаторов различного типа. Наиболее эффективными из существующих являются гиперпластификаторы на основе эфиров поликарбоксилатов. Они характеризуются пространственным строением молекул с разветвленными боковыми цепями и, точно адсорбируясь на поверхности минеральных частиц, способствуют максимальной пластификации формовочной массы за счет возникающего стерического эффекта (рис. 1).

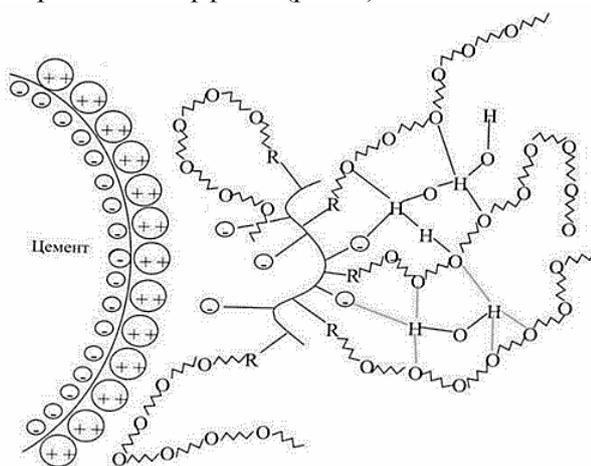


Рис. 1. Схема адсорбции молекулы гиперпластификатора на поверхности цемента [6]

Используемые компоненты. Промышленные составы гиперпрессованных материалов включают (% от массы): портландцемент средних марок по прочности (8...20), отсев горной породы осадочного происхождения (известняк, мрамор, мергель) (65...85); минеральный пигмент (1...2), воду (водотвердое отношение ~8...15), корректирующие добавки (пластификаторы, гидрофобизаторы и др.). Если декоративные качества материала не являются определяющими, то в качестве основного компонента сырьевой смеси применяют доменные шлаки, твердые золошлаковые отходы, отходы асбоцементных производств и т.п.

При проведении исследований использовали: минеральный порошок – тонкомолотый отход газобетона ($S_{уд}=6915 \text{ см}^2/\text{г}$, $d_{частиц}=3,7 \text{ мкм}$), песок Чаадаевского месторождения ($M_k=1,3$), портландцемент М400 (обычный или белый для окрашенных составов), пластификаторы – С-3, Melflux 2651F, Sikament BV3M.

В процессе подготовки сырьевой смеси производили совместное смешивание минеральных компонентов и их перетирание с целью гомогенизации и активации формуемой массы. Прессование осуществляли в формах, обеспечивающих двухстороннее приложение нагрузки. Общее время прессования составляло 1,5...2,0 минуты. Скорость приложения усилия прессования варьировалась от 50 мм/мин вначале процесса до 3 мм/мин на заключительном этапе формования.

До момента испытаний образцы твердели в различных условиях:

– для ускорения набора прочности первую часть образцов помещали в камеру созревания на 10 часов ($T_c=60...70 \text{ }^\circ\text{C}$, $\phi=97...99\%$);

– вторую часть образцов оставляли на 14 и 21 суток в камерах нормального твердения ($T_c=18...22 \text{ }^\circ\text{C}$, $\phi=97...99\%$).

Внешний вид цилиндрических образцов диаметром 50 мм, полученных способом гиперпрессования из ОГБ, приведен на рис. 2.



Рис. 2. Образцы из гиперпрессованных составов на отходах газобетона

Задача исследований сводилась к установлению закономерностей формирования показателей свойств материала от компонентов рецептуры и режимов прессования. Варианты составов сырьевых смесей приведены в таблице. Результаты испытаний данных составов представлены на диаграммах рис. 3...6.

Составы формовочных масс

| Номер состава | Компоненты, % | | | | | | Давление прессования, МПа |
|---------------|---------------|--------|-------|-----------|---------|------------------------------|---------------------------|
| | ПЦ | Отходы | Песок | В/Т | Пигмент | Пластификатор (наименование) | |
| 1 | 15 | 85 | - | 0,12 | - | - | 20 |
| 2 | 15 | 45 | 40 | 0,15 | - | - | 20 |
| 3 | 10 | 90 | - | 0,13 | - | - | 20 |
| 4 | 10 | 65 | 25 | 0,13 | - | - | 20 |
| 5 | 10 | 90 | - | 0,13 | 0,78 | - | 20 |
| 6 | 12,5 | 75 | 12,5 | 0,13 | 0,78 | - | 25 |
| 7 | 10 | 45 | 45 | 0,08 | - | 0,075(Melflux) | 20 |
| 8 | 10 | 75 | 15 | 0,08 7 | 0,75 | 0,075 (C-3) | 20 |
| 9 | 15 | 55 | 30 | 0,08 | - | 0,075(Melflux) | 25 |
| 10 (А) | 15 | 85 | - | 0,11 | 0,75 | 0,063(Melflux) | 30 |
| 10 (Б) | 15 | 85 | - | 0,11 | 0,75 | 0,063(Melflux) | 35 |
| 11 | 15 | 85 | - | 0,14 | - | - | 25 |
| 11 | 15 | 85 | - | 0,14 | - | - | 30 |
| 12 | 17,5 | 82,5 | - | 0,12 | - | 0,03(Melflux) | 30 |



Рис. 3. Влияние количества песка на водопоглощение материала

Из рис. 3 следует, что увеличение относительного содержания песка до 25 % от общей массы сопровождается снижением величины водопоглощения на 20 %. Введение в состав сырьевой смеси пластификаторов (С-3) существенно понижает водопоглощение на 23 %. Использование пластификатора Melflux 2651F, наряду с увеличением содержания песка до 45%, позволило снизить рассматриваемый показатель материала до приемлемой величины (12,9 %).

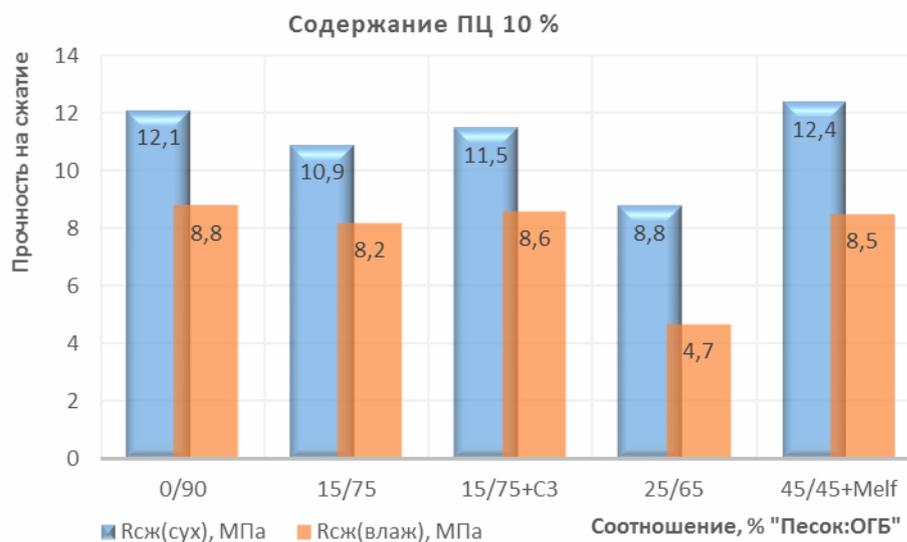


Рис. 4. Влияние состава на прочность материала (ПЦ=10%)

Из рис. 4 следует, что увеличение относительного содержания песка до 25 % от общей массы сопровождается снижением показателя прочности при сжатии с 12,1 до 8,8 МПа (27 %). Введение в состав сырьевой смеси пластификаторов (С-3) несколько повышает прочность как в сухом, так и во влажном состоянии. Использование пластификатора Melflux 2651F, наряду с увеличением содержания песка до 45%, позволяет повысить коэффициент водостойкости до 0,75.

Сравнение данных, приведенных на рис. 4 и 5, показывает, что увеличение содержания ПЦ в смеси с 10 до 15 % не влияет на водопоглощение образцов. Сохраняется преобладающее влияние добавки пластификатора на этот показатель.

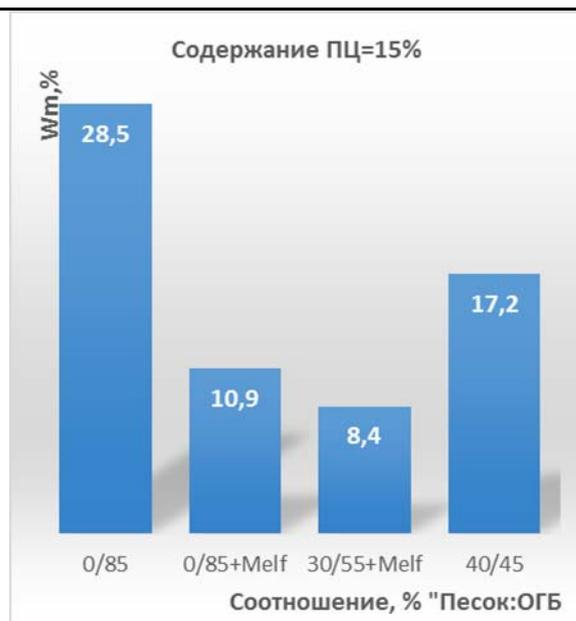


Рис. 5. Влияние количества песка на водопоглощение материала (при ПЦ=15%)

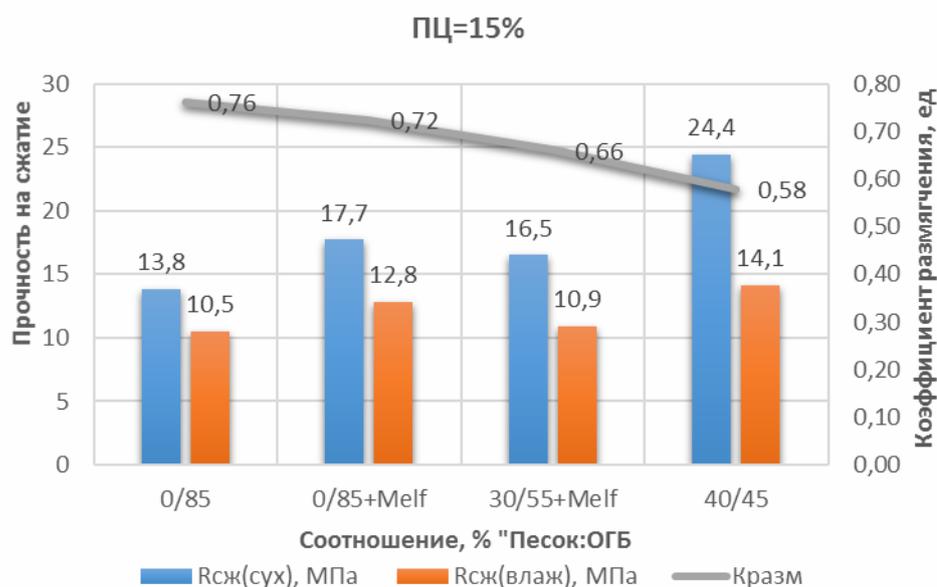


Рис. 6. Влияние состава на прочность материала (ПЦ=15%)

Из рис. 6 следует, что увеличение относительного содержания песка до 30 % от общей массы сопровождается уменьшением показателя прочности при сжатии с 17,7 до 16,5 МПа. Сравнение данных, приведенных на рис. 4 и 6, указывает на существенное влияние пластификаторов на показатель водостойкости образцов (без добавки – 0,66, с добавкой – 0,75).

Увеличение содержания ПЦ с 10 до 15 % сопровождается ростом прочности испытываемого материала с 12,1 до 13,8 МПа (увеличение на 14%) в сухом состоянии и с 8,8 до 10,5 МПа (увеличение на 19,3 %) в увлажнённом состоянии. Т.е. зависимость между расходом цемента и прочностью гиперпрессованного материала является близкой к линейной.

Выводы:

1. Превалирующими факторами, влияющими на свойства гиперпрессованных материалов, являются расход портландцемента и водотвердое отношение формуемой смеси. При этом характер влияния первого фактора является линейным (с увеличением расхода вяжущего в диапазоне 10...15 % прочность и водостойкость закономерно улучшаются). Влияние В/Т-отношения не однозначно: увеличение В/Т с 0,08 до 0,15 сопровождается увеличением прочности на сжатие. Очевидно, что увеличение расхода воды в указанном диапазоне способствует повышению степени уплотнения компонентов структуры и процессу гидратации вяжущего.

2. Увеличение относительного содержания песка сопровождается ростом средней плотности материала. Однако для составов с содержанием песка 30 и 40 % существенное влияние оказывает величина давления прессования. Так, плотность образцов состава №9 (П=30 %), отпрессованных при давлении 25 МПа, выше аналогичного показателя образцов состава № 2 (П=40 %), давление прессования которых уменьшили на 20%.

3. Введение пластифицирующих добавок в количестве 0,4...0,8 % от массы цемента позволяет значительно снизить водопоглощение материала, а также повысить водостойкость до 0,73...0,75.

Результаты проведенных исследований свидетельствуют о том, что утилизация отходов автоклавного газобетона при получении материалов, формуемых при высоком давлении из масс с низким содержанием воды, имеет перспективы в производстве стеновых материалов различной цветовой гаммы.

Список литературы

1. Людвиг, Х.-М. Синтетические гидраты силиката кальция в сборных железобетонных конструкциях / Х.-М. Людвиг, Д. Дрессель //СРІ Международное бетонное производство. – 2011. – № 5. – С. 42–46.
2. Калашников, В.И. Наногидросиликатные технологии в производстве бетонов / В.И. Калашников, В.Т. Ерофеев, М.Н. Мороз, И.Ю. Троянов, В.М. Володин, О.В. Суздальцев // Строительные материалы. – 2014. – № 5. –С. 88–92.
3. Proshin, A.P. Unautoclaved foam concrete and its constructions adapted to regional conditions / A.P. Proshin, V.A. Beregovoy, A.M., Beregovoy A.I. Eremkin // Proceedings of the International Conference on the Use of Foamed Concrete in Construction. – Dundee, Scotland: Concrete Technology Unit, 2005. – P. 113–120.
4. Баранов, А.С. Прочность прессованного фибробетона / А.С. Баранов, И.Е. Сеськин // Строительные материалы. – 2012. – №10. – С.72–73.
5. Береговой, В.А. Эффективные пенокерамобетоны общестроительного и специального назначения дис. ... д-ра техн- наук: 05.23.05 / В.А. Береговой. – Пенза, 2012.
6. Крамар, Л.Я. Модификаторы цементных бетонов и растворов (технические характеристики и механизм действия) / Л.Я. Крамар, Б.Я. Трофимов, Е.А. Гамалий, Т.Н. Черных, В.В. Зимич. – Челябинск: ООО «Искра Профи», 2012. – 202 с.

References

1. Ludwig, H.-M. Synthetic hydrates of calcium silicate in precast concrete structures / H.-M. Ludwig, D. Dressel // CPI International concrete production. – 2011. – No. 5. – P. 42–46.
2. Kalashnikov, V.I. Nanohydrosilicate technologies in concrete production / V.I. Kalashnikov, V.T. Erofeev, M.N. Moroz, I.Yu. Troyanov, V.M. Volodin, O.V. Suzdaltsev // Building material. – 2014. – No. 5. – P. 88–92.
3. Proshin, A.P. Unautoclaved foam concrete and its constructions adapted to regional conditions / A.P. Proshin, V.A. Beregovoy, A.M., Beregovoy A.I. Eremkin // Proceedings of the International Conference on the Use of Foamed Concrete in Construction. – Dundee, Scotland: Concrete Technology Unit, 2005. – P. 113–120.

-
4. Baranov, A.S. Strength of pressed fiber concrete / A.S. Baranov, I.E. Seskin // Building materials. – 2012. – No10. – P.72–73.
 5. Beregovoy, V.A. Effective foam concrete for General construction and special Purpose dis.... doctor of Sciences: 05.23.05 / V.A. Beregovoy. – Penza, 2012.
 6. Kramar, L.Ya. Modifiers of cement concretes and solutions (technical characteristics and mechanism of action) / L.Ya. Kramar, B.Ya. Trofimov, E.A. Gamaliy, T.N. Chernykh, V.V. Zimich. – Chelyabinsk: Iskra Profi, 2012. – 202 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

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

Лавров Иван Юрьевич,
магистрант

Горохова Анастасия Алексеевна,
студент

Дубинин Денис Анатольевич,
студент

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 Alexandrovich,
Doctor of Sciences, Professor, Head of the
department «Building materials and woodworking
technology»

Lavrov Ivan Yurievich,
Undergraduate student

Gorokhova Anastasia Alekseevna,
Student

Dubinin Denis Anatolyevich,
Student

E-mail: techbeton@pguas.ru

ТЕХНИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РЕАЛИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИИ 3D-ПЕЧАТИ КЕРАМИЧЕСКИМИ МАССАМИ

В.А. Береговой, И.Ю. Лавров, А.А. Горохова, Д.А. Дубинин

Приведены технологические особенности процесса экструдирования минеральных масс с использованием 3D-печати. Описаны конструкция и принцип работы экструдера. Получены экспериментальные зависимости формирования свойств керамических масс, предназначенных для печати изделий.

Ключевые слова: 3D-печать, керамические изделия, минеральные массы, поршневого экструдера, одноступенчатая система подачи смеси

TECHNICAL ASPECTS OF TECHNOLOGY OF IMPLEMENTATION 3D PRINTING WITH CERAMIC MASSES

V.A. Beregovoy, I.Yu. Lavrov, A.A. Gorokhova, D.A. Dubinin

The article presents the technological features of the process of extrusion of mineral masses using 3D-printing. The design and operation of the extruder are described. Experimental dependences of formation the properties of ceramic masses intended for printing products are obtained.

Keywords: 3D-printing, ceramics, minerals, piston extruder, single-stage mixture feeding system

В настоящее время наблюдается активная замена аналоговых технологий на цифровые. Это придает особую актуальность разработкам в области интеграции компьютерных средств моделирования и управления с технологией производства материалов. Положительные результаты научных исследований способны придать мощный импульс развитию аддитивных технологий применительно к 3D-печати строительных изделий различного функционального назначения.

Важная технологическая особенность аддитивной 3D-печати заключается в послойном наращивании изделий, что дает инструментарий для целенаправленного синтеза структуры материала с заранее заданными свойствами [1, 2]. К настоящему времени разработаны следующие типы рассматриваемых технологий:

- лазерная стереолитография (STL-stereolithography);
- моделирование методом наплавления (FDM – Fused Deposition Modeling);
- метод многоструйного моделирования (MJM – Multi jet modeling);
- распыление термопластов (BPM – Ballistic Particle Manufacturing);

- изготовление объектов с использованием ламинирования (LOM – Laminated object manufacturing);
- лазерное спекание порошков (SLS – Selective Laser Sintering);
- электронно-лучевая плавка (EBM – electron beam melting);
- печать суспензиями (LDM – Liquid Deposition Modeling).

Анализ показывает, что наиболее пригодна для печати строительных материалов керамическими и бетонными смесями технология LDM [3].

Главным рабочим инструментом установки для LDM-печати является экструдер. Способ перемещения смеси к фильере (шнековый, поршневой, роторный, шестереночный, перистальтический) определяет тип конструкции экструдера и его технические характеристики.

В большинстве действующих принтеров используют агрегаты двух типов:

- тип №1: подаёт смесь из бункера-накопителя по шлангу к экструдеру пневматически или посредством перемещения поршня;
- тип №2: установлен непосредственно в печатающей головке принтера и является дозатором смеси, поступающей на печать.

Дозировка смеси осуществляется шнековым или перистальтическим механизмом. Каждый из них обладает рядом достоинств и недостатков и нуждается в отдельной экспериментальной проверке.

На этапе наладки 3D-принтера и подбора состава смесей оправдывает себя решение использовать одноступенчатую систему подачи массы поршневым экструдером. Данная система имеет минимум узлов и является наиболее предсказуемой. На рис. 1 изображён общий вид экспериментального поршневого экструдера.

Шток поршня выполняет функцию ходового винта механизма подачи. Из-за этого в конструкцию поршня включен подшипниковый узел с радиально-упорным подшипником (рис. 2).



Рис. 1. Опытно-экспериментальная конструкция экструдера

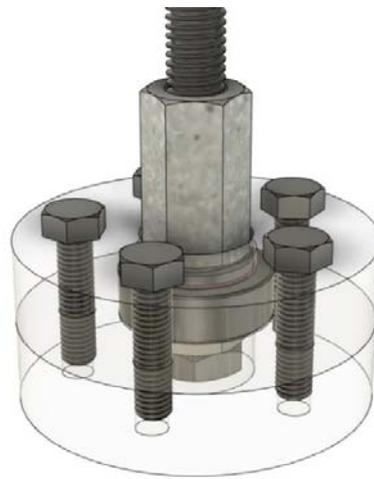


Рис. 2. Подшипниковый узел поршня (фрагмент поршня изображен прозрачным)

Данная система хорошо показала себя на предварительных испытаниях. На кафедре ТСМиД (ПГУАС) ведутся работы по оптимизации поршневого экструдера. Материал фильеры должен удовлетворять следующим требованиям:

- быть устойчивым к истирающим нагрузкам (установлено значительное абразивное воздействие печатных масс по причине наличия в глине терригенных примесей кварца);
- обеспечивать достаточную для продавливания герметичность печатающего узла (определяется диаметром отверстия, толщиной и профилем продольного разреза фильеры (рис. 5));
- обладать стойкостью к процессам коррозии.

На рис. 3 показаны фильеры из алюминиевого сплава Д16т толщиной 5,5 мм с различной конфигурацией отверстий, изготовленные для проведения экспериментов.

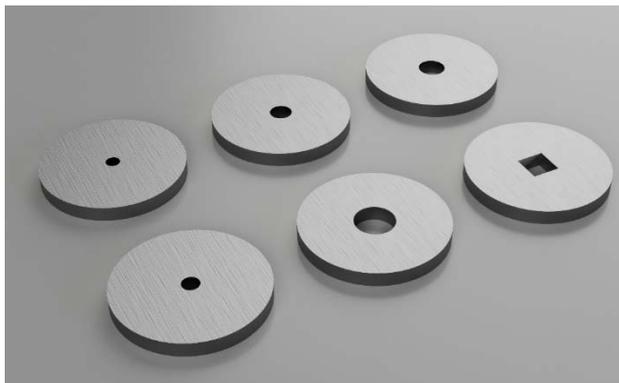


Рис. 3. Фильтры из алюминиевого сплава

Попутно исследуется возможность применения фильтров сложной формы, полученных методом 3D-печати из износостойкого полилактида (PLA) (рис. 4).



Рис. 4. Разрез фильеры, напечатанной из PLA

Зависимости усилия экструдирования от влажности глиняной массы и диаметра выходного отверстия фильеры приведены на рис. 5.

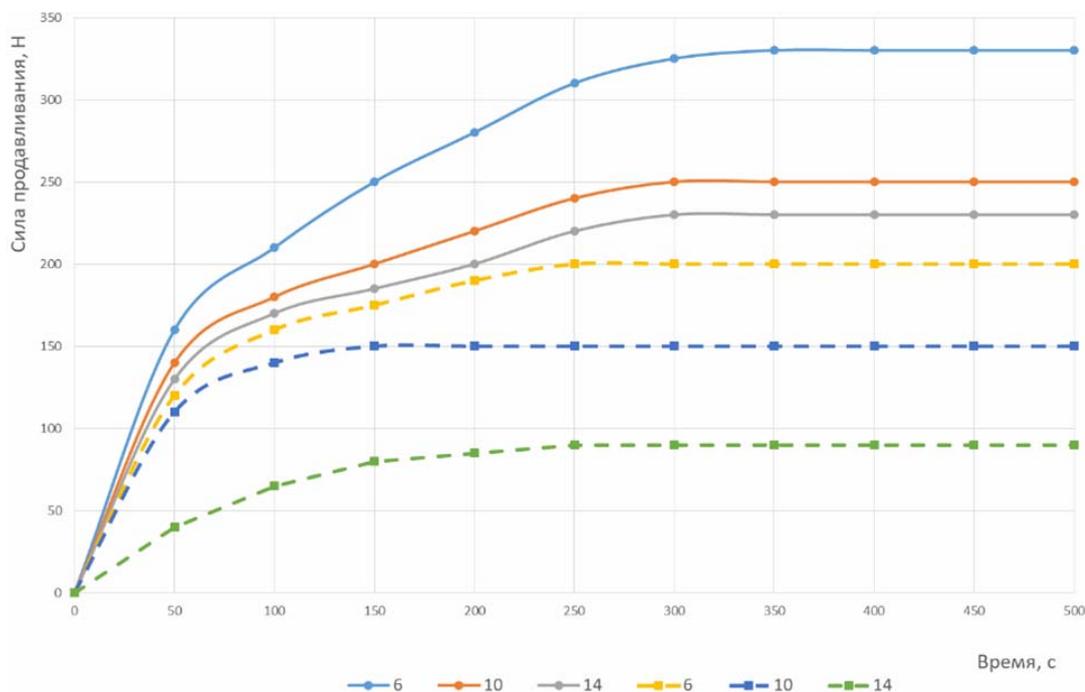


Рис. 5. Влияние влажности глины (кривые: верхние – 22 %; нижние – 24 %) и диаметра выходного отверстия фильеры на силу продавливания

На начальных этапах разработки технологии 3D-печати (подбор режима печати, настройка динамических параметров принтера, калибровка «потока») существенное внимание следует уделять реологическим свойствам используемых смесей.

В работе [4] опубликованы результаты исследования свойств керамических масс, пригодных для аддитивной технологии. Для изучения реологических свойств масс был изготовлен прибор конструкции Д.М. Толстого (рис. 6).



Рис. 6. Модернизированный прибор Д.М. Толстого

Кривые изменения скорости деформации глины при изменении величины действующей нагрузки $\frac{\partial \varepsilon}{\partial \tau} = f(P)$, полученные экспериментальным путём, показаны на рис. 7.

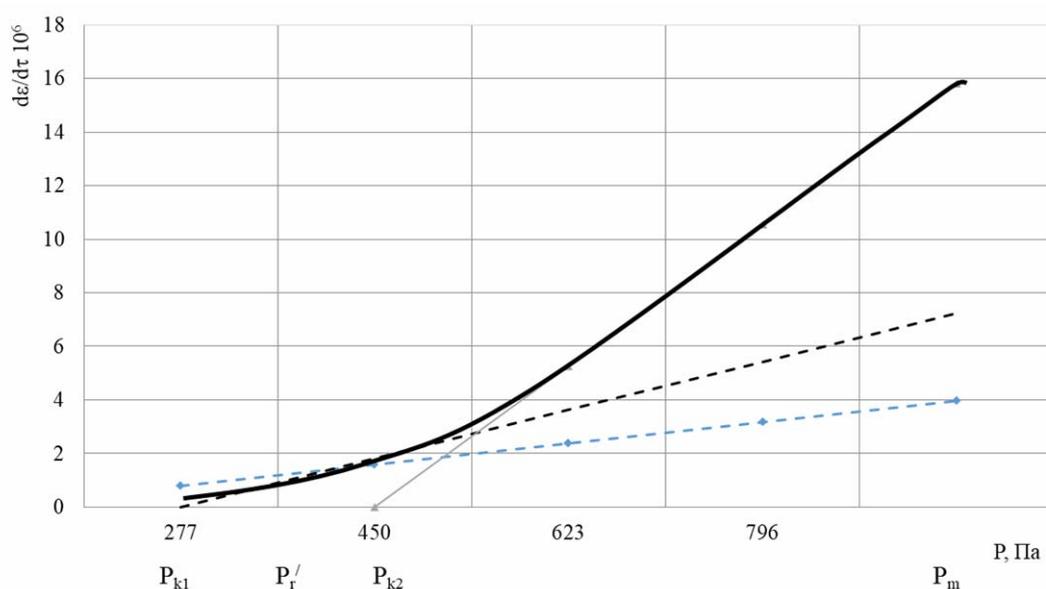


Рис. 7. Зависимость скорости относительного сдвига глины от нагрузки

Конструктивные решения 3D-принтера, апробированные в ходе проведения работ по способу подачи и механике экструдирования минеральных масс с различными реотехнологическими показателями, позволили расширить потенциал применения аддитивных технологий за счет использования в составах печатных масс местного минерального сырья.

Список литературы

1. Береговой, В.А. Стеклокристаллические материалы на основе кремнистых пород / В.А. Береговой, Д.С. Сорокин // Региональная архитектура и строительство. – 2015. – № 1 (22). – С. 54–57.

2. Береговой, В.А. Теплофизические свойства композиционных материалов для защиты от радиации: автореф. дис. ... канд. техн. наук / В.А. Береговой. – Пенза: Пензенская гос. архитектурно-строит. академия, 1997.

3. Береговой, В.А. 3D-принтер для печати строительной керамики с опцией фрезерования изделий / В.А. Береговой, И.Ю. Лавров, Д.А. Дубинин, А.А. Горохова // Строительство: новые технологии – новое оборудование. – 2020. – № 6. – С. 34–45.

4. Береговой, В.А. 3D-принтер для печати строительной керамики / В.А. Береговой, И.Ю. Лавров // Региональная архитектура и строительство. – 2020. – № 1. – С. 32–37.

References

1. Beregovoy, V.A. Glass-Crystal materials based on siliceous rocks / V.A. Beregovoy, D.S. Sorokin // Regional architecture and construction. – 2015. – № 1 (22). – P. 54–57.

2. Beregovoy, V.A. Thermophysical properties of composite materials for protection from radiation: Abstract of dis. ... candidate of Sciences / V.A. Beregovoy. – Penza: PGASA, 1997.

3. Beregovoy, V.A. 3D printer for printing construction ceramics with the option of milling products / V.A. Beregovoy, I.Yu. Lavrov, D.A. Dubinin, A.A. Gorokhova // Construction: new technologies – new equipment. – 2020. – № 6. – P. 34–45.

4. Beregovoy, V.A. 3D printer for printing construction ceramics / V.A. Beregovoy, I.Yu. Lavrov // Regional architecture and engineering. – 2020. – № 1. – P. 32–37.

УДК 624.014

Пензенский государственный университет
архитектуры и строительства

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

Гарькин Игорь Николаевич,
доцент кафедры «Управление качеством
и технология строительного производства»
E-mail: igor_garkin@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

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

ИССЛЕДОВАНИЕ УЗЛОВОГО СОПРЯЖЕНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ КОЛОННЫ И ПЕРЕКРЫТИЯ

И.Н. Гарькин

Приведены результаты исследования работы узлового сопряжения железобетонной колонны и перекрытия каркасов зданий и сооружений с помощью программно-вычислительного комплекса ANSYS. Доказано, что моделирование узла сборно-монолитного каркаса с помощью системы автоматизированного проектирования – наиболее рациональный способ решения проблемы повышения безопасности узловых железобетонных соединений.

Ключевые слова: строительные конструкции, здания сельскохозяйственного назначения, железобетонные колонны, перекрытия, узловое сопряжение, ANSYS

INVESTIGATION OF INTERFACE NODES OF A CONCRETE COLUMN AND A FLOOR

I.N. Garkin

The work of the nodal interface of a reinforced concrete column and the overlap of the agricultural buildings frames is investigated using the ANSYS software complex. It is proved that modeling a unit of a precast-monolithic frame using a computer-aided design system is the most rational way to solve the problem of increasing the safety of nodal reinforced concrete connections.

Keywords: building structures, buildings for agricultural purposes, reinforced concrete columns, floors, nodal interface, ANSYS

Опыт обследования зданий и сооружений [1] и теоретические исследования в области железобетонных конструкций [2, 3] показали, что узловые сопряжения являются наиболее уязвимыми элементами систем каркаса. Ввиду того, что работы по армированию и замоноличиванию узлов производятся уже на объекте и зачастую при ненадлежащем контроле качества, возможно появление различного рода дефектов (рис. 1). Так, обоснованием для внимательного изучения узлового сопряжения является характерное появление деформаций (трещинообразования) в приопорных зонах и обмятия бетона по контактными поверхностям. На рис. 2 можно отметить характерные наклонные трещины.

Факт того, что работы по устройству узлов могут быть выполнены некачественным образом, влечет за собой возможные дефекты, исключая совместную работу бетона и арматуры (рис. 3).

Кроме того, стоит заметить, что в узлах сборно-монолитных каркасов в наибольшей степени проявляется их физическая и конструктивная нелинейность. Степень податливости варьируется в зависимости от напряженно-деформированного состояния, что неизменно приводит к существенному перераспределению усилий.

В существующих методах расчета на данный момент времени не в полной мере учитывается влияние податливости узловых сопряжений на совместную работу строительных подсистем каркаса – продольных и поперечных рам, дисков перекрытия и диафрагм жесткости. В основном это объясняется недостаточной изученностью пространственного взаимодействия сборно-монолитных элементов в обеих их стадиях работы – упругой и пластической. Поэтому, как правило, расчет каркасных зданий производится по расчетным схемам с шарнирными или жесткими узлами сопряжений элементов, что не в полной мере отражает работу несущих конструкций.



Рис. 1. Раскрытие трещин в приопорной зоне



Рис. 2. Раскрытие наклонных трещин в приопорной зоне



Рис. 3. Непробетонированные участки, обнаруженные при обследовании

Современные требования к экономической эффективности принимаемых конструктивных решений влекут за собой неизбежное уточнение расчетных моделей узловых сопряжений конструкций сборно-монолитных каркасных зданий [4].

Одним из рациональных способов решения поставленной задачи является моделирование узла сборно-монолитного каркаса с помощью системы автоматизированного проектирования.

Моделирование узла осуществляется поэтапно в программе AutoCAD с последующим импортом модели в ANSYS. Это наглядно иллюстрирует процесс устройства узла сопряжения конструкций непосредственно на объекте и является первым этапом уточнения модели узла, реализуемого в SCAD.

Жесткость узла обеспечивается пропуском горизонтальных арматурных стержней через тело колонны с последующим омоноличиванием. Такой тип сопряжения позволяет уменьшить пролетный изгибающий момент за счет его перераспределения на опорные, что влечет за собой понижение расхода железобетона. Весь каркас собирается без применения сварки, что повышает качество выполнения работ и общую надежность узла.

Исходными для загрузки выбраны данные, полученные в результате предварительного обследования. Загрузка реализуется в три этапа: через сбор нагрузок на фрагмент схемы – перекрытие, путем конвертации внутренних усилий ригеля и в виде нагрузки от конструкции пола и полезной нагрузки. В качестве единиц выходных данных выбраны Н для удобного переноса нагрузок в ANSYS; для нагрузки от конструкции пола и полезной нагрузки – т.

Загрузка формируется многокомпонентным, на интервале от 0 с до 1, с равномерно возрастающим до полной магнитуды. Такой метод позволяет добиться большей сходимости нелинейного расчета и в целом упростить решаемую задачу. Ввиду несоответствия осей в SCAD и ANSYS загрузки именованы со ссылкой на SCAD.

Нагружение для монолитной плиты и плит-опалубок формируется по нагрузкам в узлах расчетной схемы SCAD, деленным на площадь поверхности грани выбранных элементов. Площади поверхности:

$$0,06 \cdot 0,75 = 0,045 \text{ м}^2; \quad 0,06 \cdot 0,85 = 0,051 \text{ м}^2 \quad \text{– для плит-опалубок};$$

$$1,4 \cdot 0,16 - 0,59 \cdot 0,06 = 0,1886 \text{ м}^2 \quad \text{– для левой монолитной грани};$$

$$1,5 \cdot 0,16 - 0,06 \cdot 0,75 = 0,195 \text{ м}^2 \quad \text{– для дальней монолитной грани};$$

$$1,4 \cdot 0,16 - 2 \cdot 0,59 \cdot 0,06 = 0,1532 \text{ м}^2 \quad \text{– для правой монолитной грани};$$

$$1,5 \cdot 0,16 - 0,06 \cdot 0,75 - 0,06 \cdot 0,85 = 0,144 \text{ м}^2 \quad \text{– для ближней монолитной грани}.$$

Перемещение модели в пространстве ограничивается 14 жесткими связями по поверхностям вырезанных граней колонны и ее арматурных стержней снизу и сверху.

Помимо прочего, на первом этапе анализа всем телам системы назначаются контакты по поверхностям типа «Bonded». Данные контакты являются линейными и функционируют как абсолютно жесткие. Узел, таким образом, будет работать как монолитная конструкция.

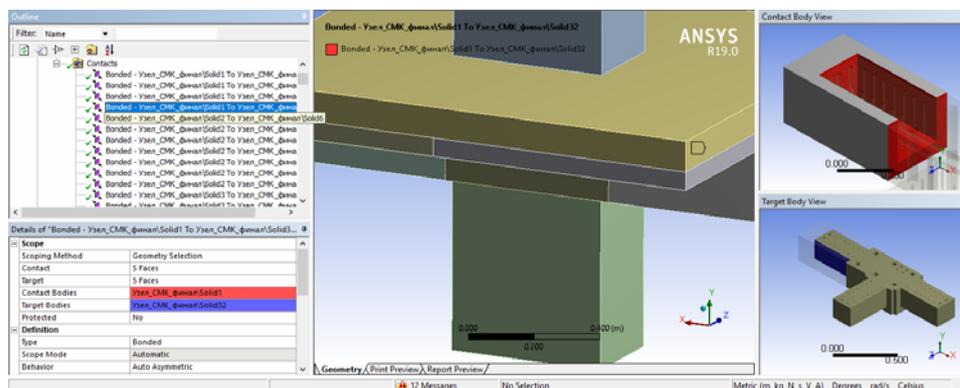


Рис. 4. Связи по контактными поверхностям бетона

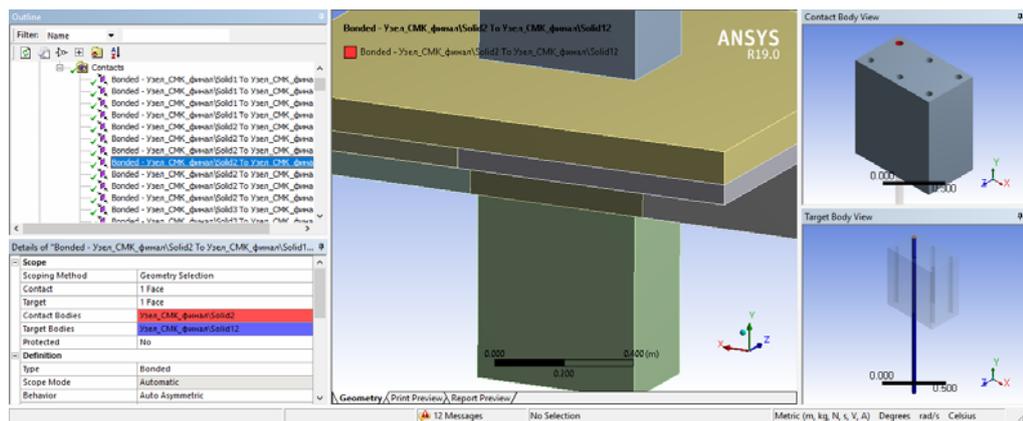


Рис. 5. Связи по контактным поверхностям бетона и арматуры

Сетка конечно-элементной модели задана адаптивно с приоритетом на квадратные элементы. Размер конечного элемента – 0,05 м.

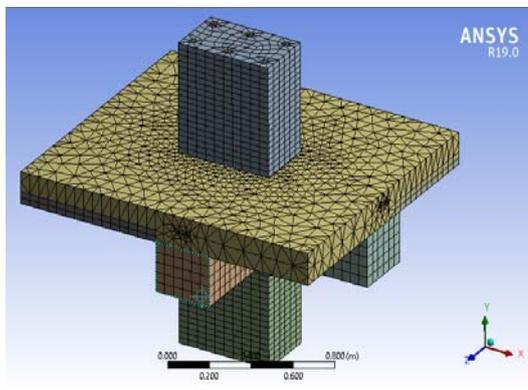


Рис. 6. Конечно-элементная модель узлового сопряжения

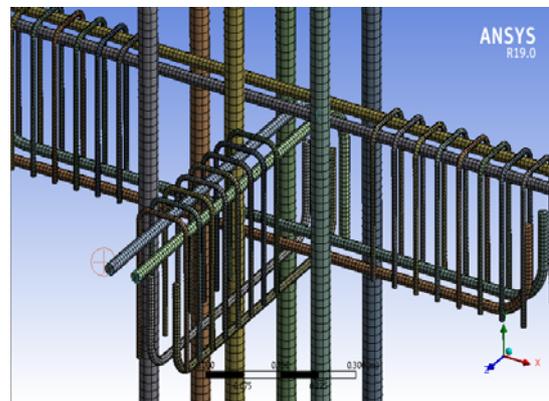


Рис. 7. Конечно-элементная модель арматуры

В зонах контакта разных элементов в сетке организована более плотная структура для достижения большей сходимости (рис. 8).

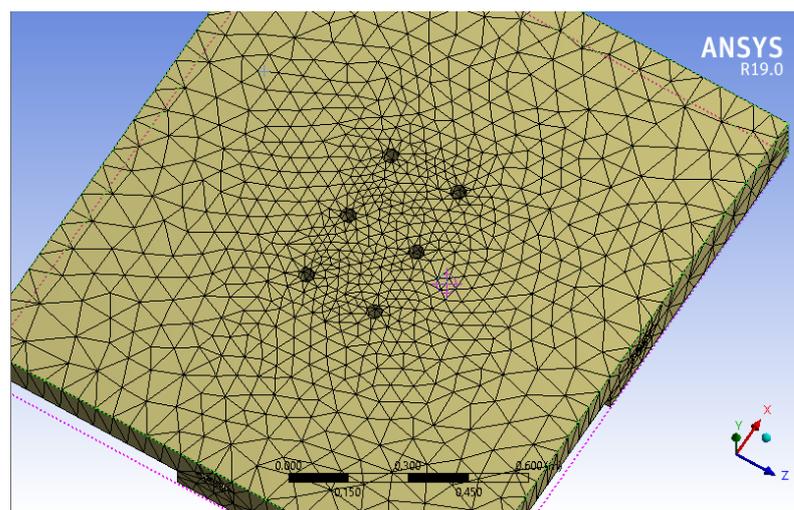


Рис. 8. Сетка 2-го монолитного слоя

Материалы для линейного расчета задаем исходя из плотности, предельных прочностных характеристик и параметров изотропной эластичности – модуля упругости и коэффициента Пуассона.

Для нелинейного расчета созданы дополнительные материалы: сталь, параметры прочности которой описывает диаграмма билинейного изотропного упрочнения, и бетон, поведение которого описывается моделью Менетрея-Уиллема. Выбранная модель, в частности, позволяет использовать параметр угла дилатансии, тем самым осуществляя переход от идеального упруго-пластического материала к более реальному (рис. 9).

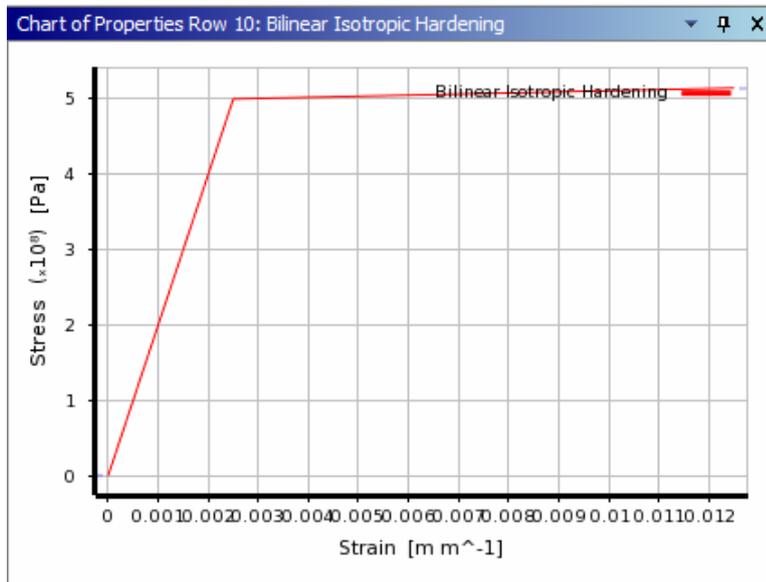


Рис. 9. График билинейного упрочнения материала для стали A500С

В рамках расчета установлены эквивалентные напряжения в бетоне и арматуре и определена степень деформативности модели под нагрузкой.

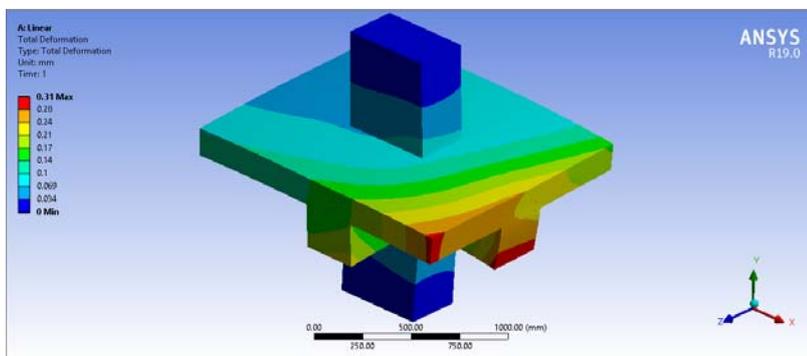


Рис. 10. Схема деформаций

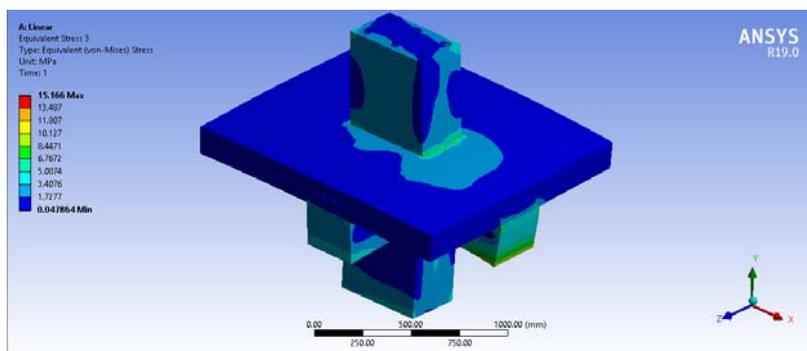


Рис. 11. Эквивалентные напряжения в бетоне

Как видно из рис. 10, приопорные зоны действительно наиболее подвержены возникновению трещин.

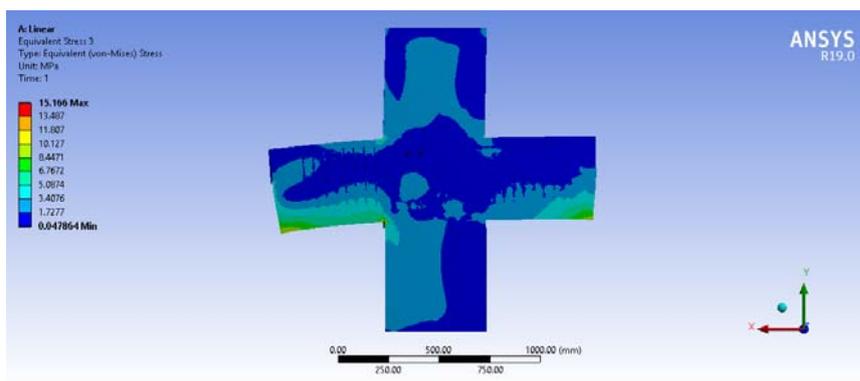


Рис. 12. Эквивалентные напряжения в бетоне (разрез)

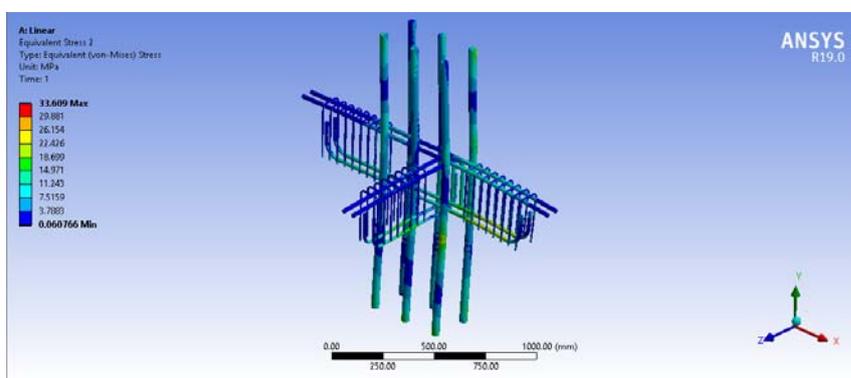


Рис. 13. Эквивалентные напряжения в арматуре

Полученные изополя напряжений позволяют сделать вывод о том, что бетон и арматура не выходят за пределы упругой стадии работы.

Таким образом, использование программно-вычислительного комплекса ANSYS позволяет:

- 1) смоделировать воздействие нагрузок на железобетонные конструкции;
- 2) повысить безопасность узловых железобетонных соединений;
- 3) увеличить скорость разработки проектно-сметной документации.

Список литературы

1. Гарькин, И.Н. Техническая экспертиза: предотвращение обрушений зданий / И.Н. Гарькин, В.А. Гарькина // Вестник ПГУАС: строительство, наука и образование. – 2020. – № 1 (10). – С. 28–32.
2. Шеин, А.И. Расчет монолитных железобетонных каркасов с учетом последовательности возведения, физической нелинейности и ползучести бетона / А.И. Шеин, О.Б. Завьялова // Строительная механика и расчет сооружений. – 2012. – № 5 (244). – С. 64–69.
3. Завьялова, О.Б. Расчёт многоэтажного ступенчатого пилона с учетом твердения и ползучести бетона раннего возраста / О.Б. Завьялова // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2020. – № 3 (33). – С. 26–30.
4. Chernykh, V.K. Bearing capacity and life time of multielement structures exposed to corrosive wear / V.K. Chernykh, I.I. Ovchinnikov // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. – 451 (2018) 012062 – P.1-5. – DOI: 10.1088/1757-899X/451/1/012062.

References

1. Garkin, I.N. Technical expertise: preventing collapse of buildings / I.N. Garkin, V.A. Garkina // Bulletin of PGUAS: construction, science and education. – 2020. – No. 1 (10). – P. 28–32.
2. Shein, A.I. Calculation of monolithic reinforced concrete frames taking into account the sequence of construction, physical nonlinearity and creep of concrete / A.I. Shein, O.B. Zavyalova // Structural mechanics and calculation of structures. – 2012. – № 5 (244). – P. 64–69.
3. Zavyalova, O.B. Calculation of a multi-storey stepped pylon taking into account the hardening and creep of concrete of an early age / O.B. Zavyalova // Engineering and construction bulletin of the Caspian region. – 2020. – No. 3 (33). – P. 26–30.
4. Chernykh, V.K. Bearing capacity and life time of multielement structures exposed to corrosive wear / V.K. Chernykh, I.I. Ovchinnikov // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. – 451 (2018) 012062 – P.1–5. – DOI: 10.1088 / 1757-899X / 451/1/012062

УДК 666.949

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

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

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

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

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

Кирьянова Анна Александровна,
студент
E-mail: nyuta.kiryanova.97@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

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

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

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

Kiryanova Anna Alexandrovna,
Student
E-mail: nyuta.kiryanova.97@mail.ru

ВЛИЯНИЕ СОСТАВА ГЕОПОЛИМЕРНОГО ВЯЖУЩЕГО НА ОСНОВЕ ОТСЕВА ДРОБЛЕНИЯ ГРАНИТА НА СВОЙСТВА МЕЛКОЗЕРНИСТОГО БЕТОНА

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

Исследовано влияние доли шлака и измельченного отсева дробления бетонного лома в геополимерном вяжущем на свойства мелкозернистого бетона. Получены эмпирические уравнения, описывающие влияние исследованных факторов на основные свойства бетона.

Ключевые слова: геополимер, мелкозернистый бетон, шлак, бетонный лом, прочность, усадка, водопоглощение, математическая модель.

THE INFLUENCE OF GEOPOLYMER BINDER COMPOSITION ON CRUSHED GRANITE SCREENINGS ON THE PROPERTIES OF FINE CONCRETE

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

The influence of the proportion of slag and screening of crushed concrete scrap in a geopolymer binder on the properties of fine-grained concrete was investigated. Empirical equations are obtained that describe the influence of the investigated factors on the basic properties of concrete.

Keywords: geopolymer, fine-grained concrete, slag, concrete scrap, strength, shrinkage, water absorption, mathematical model.

Введение

Основной компонент геополимерных вяжущих на основе магматических горных пород – породы алюмосиликатного состава [1]. Большим преимуществом этого вида вяжущего является возможность использования в качестве сырья пылевидных отходов

дробления щебня. Объемы образования этого отхода в России составляют несколько млн тонн в год [2], что может обеспечить сырьем многотоннажное производство вяжущих по ресурсосберегающей технологии [3].

Содержание дисперсных отсевов дробления, измельченных до удельной поверхности 300–400 м²/кг, в составе вяжущего может достигать 60-90 %, остальное приходится на доменный гранулированный шлак [4, 5]. Недостатками таких вяжущих, твердение которых активируется низкомолекулярным жидким стеклом, являются повышенная усадка, водопоглощение и низкие темпы набора прочности [4–7]. Для уменьшения этих недостатков в состав вяжущего вводятся различные модифицирующие минеральные добавки, которые позволяют оптимизировать технологические и эксплуатационные характеристики вяжущих и бетонов на их основе [4, 5, 8–10]. К числу перспективных добавок для модифицирования геополлимерных вяжущих относятся измельченные отсева дробления бетонного лома [11, 12]. Как показали некоторые исследования, этот материал может в некоторых случаях частично заменить измельченный гранит [11].

Цель настоящего исследования – выявление зависимости свойств мелкозернистого геополлимерного бетона от степени замещения дисперсного гранитного отхода измельченным отсевом дробления бетонного лома.

Методы и материалы для исследования

Для исследования был использован центральный композиционный ортогональный двухфакторный план эксперимента, в котором варьируемыми факторами являлись: доля шлака в вяжущем (x_1) и доля замещения гранита бетонным ломом (x_2). Для первого фактора был принят основной уровень 30 %, а для второго – 25 %. Интервалы варьирования для шлака – 10 %, а для бетонного лома – 25 %.

В табл. 1 приведена матрица плана эксперимента для геополлимерного вяжущего с кодированными и натуральными значениями факторов и составы исследованных вяжущих.

Т а б л и ц а 1

План эксперимента и составы вяжущих

| № опыта | Кодированные значения факторов | | Натуральные значения факторов, % | | Состав вяжущего, % | | |
|---------|--------------------------------|-------|----------------------------------|--------------|--------------------|--------|--------------|
| | x_1 | x_2 | Шлак | Бетонный лом | Шлак | Гранит | Бетонный лом |
| 1 | -1 | -1 | 20 | 0 | 20 | 80 | 0 |
| 2 | -1 | 0 | 20 | 25 | 20 | 60 | 20 |
| 3 | -1 | 1 | 20 | 50 | 20 | 40 | 40 |
| 4 | 0 | -1 | 30 | 0 | 30 | 70 | 0 |
| 5 | 0 | 0 | 30 | 25 | 30 | 52,5 | 17,5 |
| 6 | 0 | 1 | 30 | 50 | 30 | 35 | 35 |
| 7 | 1 | -1 | 40 | 0 | 40 | 60 | 0 |
| 8 | 1 | 0 | 40 | 25 | 40 | 15 | 45 |
| 9 | 1 | 1 | 40 | 50 | 40 | 30 | 30 |

Для изготовления вяжущего использовались отсев дробления гранитного щебня Павловского месторождения, измельченный до удельной поверхности 350 м²/кг, шлак ОАО НЛМК с дисперсностью 380 м²/кг и лом бетонных конструкций с дисперсностью 350 м²/кг. Во всех составах вяжущего для активации твердения использовался раствор низкомолекулярного жидкого стекла с $M_c = 1,3$, который смешивался с водой в соотношении 1:1,25. Для исследований были изготовлены мелкозернистые бетоны с отношением вяжущего и песка 1:2. Для приготовления бетона использовался песок Сурского месторождения с $M_k=1,5$.

В табл. 2 приведены составы геополимерных бетонов в пересчете на 1 м³, рассчитанные в соответствии с планом эксперимента (см. табл. 1).

Т а б л и ц а 2

Составы исследованных бетонов, кг/м³

| Наименование компонента | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|-------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Гранит | 505 | 379 | 253 | 442 | 332 | 221 | 379 | 284 | 190 |
| Бетонный лом | – | 117 | 233 | – | 102 | 204 | – | 87 | 175 |
| Шлак | 141 | 141 | 141 | 211 | 211 | 211 | 282 | 282 | 282 |
| Жидкое стекло | 176 | 176 | 176 | 176 | 176 | 176 | 176 | 176 | 176 |
| Вода | 141 | 141 | 141 | 141 | 141 | 141 | 141 | 141 | 141 |
| Песок | 1264 | 1264 | 1264 | 1264 | 1264 | 1264 | 1264 | 1264 | 1264 |

Прочностные свойства и усадка определялись на образцах-балочках размерами 40×40×160 мм, которые твердели в нормально-влажностных условиях. Образцы на прочность при сжатии ($R_{сж}$) и изгибе ($R_{из}$) испытывались в возрасте 3, 7 и 28 суток, а на усадку ($У$) – через 28 и 90 суток. Усадка мелкозернистого бетона определялась в процессе твердения начиная с 3 суток (через 28 суток), а также после высушивания за 90 суток в воздушно-сухих условиях.

Для оценки водопоглощения (W) образцы высушивали до постоянной массы при температуре (103±2) °С, а затем помещали в контейнеры с водой. Испытание на водопоглощение продолжалось до набора образцами постоянной массы.

По результатам эксперимента методом наименьших квадратов находили коэффициенты эмпирических уравнений зависимости свойств бетона y от исследованных факторов x_1 и x_2

$$y = b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + b_{12} \cdot x_1 \cdot x_2 + b_{11} \cdot x_1^2 + b_{22} \cdot x_2^2,$$

где $b_0, b_1, b_2, b_{12}, b_{11}, b_{22}$ – коэффициенты уравнения; x_1, x_2 – значения факторов в кодовом выражении.

Результаты и их обсуждение

Результаты определения свойств исследованных бетонов сведены в табл. 3.

Т а б л и ц а 3

Свойства исследованных геополимерных бетонов

| № п/п | Свойство | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|-------|--------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 1 | $R_{сж\ 3\ сут.}$, МПа | 9,9 | 9,1 | 8,2 | 15,6 | 14,2 | 13,1 | 21,4 | 20,4 | 19,9 |
| 2 | $R_{сж\ 7\ сут.}$, МПа | 15,7 | 16,0 | 16,2 | 25,0 | 26,6 | 28,0 | 35,6 | 37,2 | 40,6 |
| 3 | $R_{сж\ 28\ сут.}$, МПа | 23,7 | 25,0 | 26,8 | 39,2 | 41,4 | 42,7 | 57,7 | 60,2 | 62,1 |
| 4 | $R_{из\ 28\ сут.}$, МПа | 3,7 | 4,3 | 4,7 | 4,5 | 4,9 | 5,3 | 5,4 | 5,6 | 5,8 |
| 5 | $У_{28\ сут.}$, мм/м | 0,80 | 0,77 | 0,76 | 0,71 | 0,72 | 0,70 | 0,55 | 0,57 | 0,60 |
| 6 | $У_{90\ сут.}$, мм/м | 1,02 | 1,01 | 0,97 | 0,93 | 0,92 | 0,90 | 0,68 | 0,73 | 0,77 |
| 7 | W , % | 6,3 | 7,0 | 7,3 | 5,1 | 5,5 | 6,0 | 4,0 | 4,4 | 4,7 |

По результатам, приведенным в табл. 3, методом наименьших квадратов были найдены коэффициенты уравнений регрессии, описывающие зависимости исследованных свойств от факторов в кодовом выражении, которые приведены в табл. 4.

Анализ графических зависимостей на рис. 1 показывает, что основное влияние на прочность во все сроки твердения оказывает расход шлака. При увеличении доли этого компонента в вяжущем с 20 до 40 % прочность возрастает более чем в 2 раза.

Прочность при изгибе меньше зависит от доли шлака в вяжущем, чем прочность при сжатии (рис. 1,г). При этом доля замещения гранитного порошка на измельченный бетонный лом оказывает заметное положительное влияние на прочность при изгибе.

Коэффициенты уравнения регрессии для исследованных свойств бетона

| № п/п | Свойство | Коэффициенты уравнения | | | | | |
|----------|--------------------------|------------------------|--------|--------|----------|----------|----------|
| | | b_0 | b_1 | b_2 | b_{12} | b_{11} | b_{22} |
| 1 | $R_{сж\ 3\ сут.}$, МПа | 14,37 | 5,867 | -0,983 | 0* | 0,566 | 0* |
| 2 | $R_{сж\ 7\ сут.}$, МПа | 26,84 | 10,82 | 1,483 | 1,15 | 0* | 0* |
| 3 | $R_{сж\ 28\ сут.}$, МПа | 41,2 | 17,15 | 1,7 | 0* | 1,05 | 0* |
| 4 | $R_{из\ 28\ сут.}$, МПа | 4,867 | 0,683 | 0,333 | -0,125 | 0* | 0* |
| 5 | $U_{28\ сут.}$, мм/м | 0,713 | -0,105 | 0* | 0,024 | -0,038 | 0* |
| 6 | $U_{90\ сут.}$, мм/м | 0,917 | -0,14 | 0* | 0,033 | -0,05 | 0* |
| 7 | W , % | 5,63 | -1,213 | 0,462 | -0,095 | 0* | 0* |

*Величина статистически не значима.

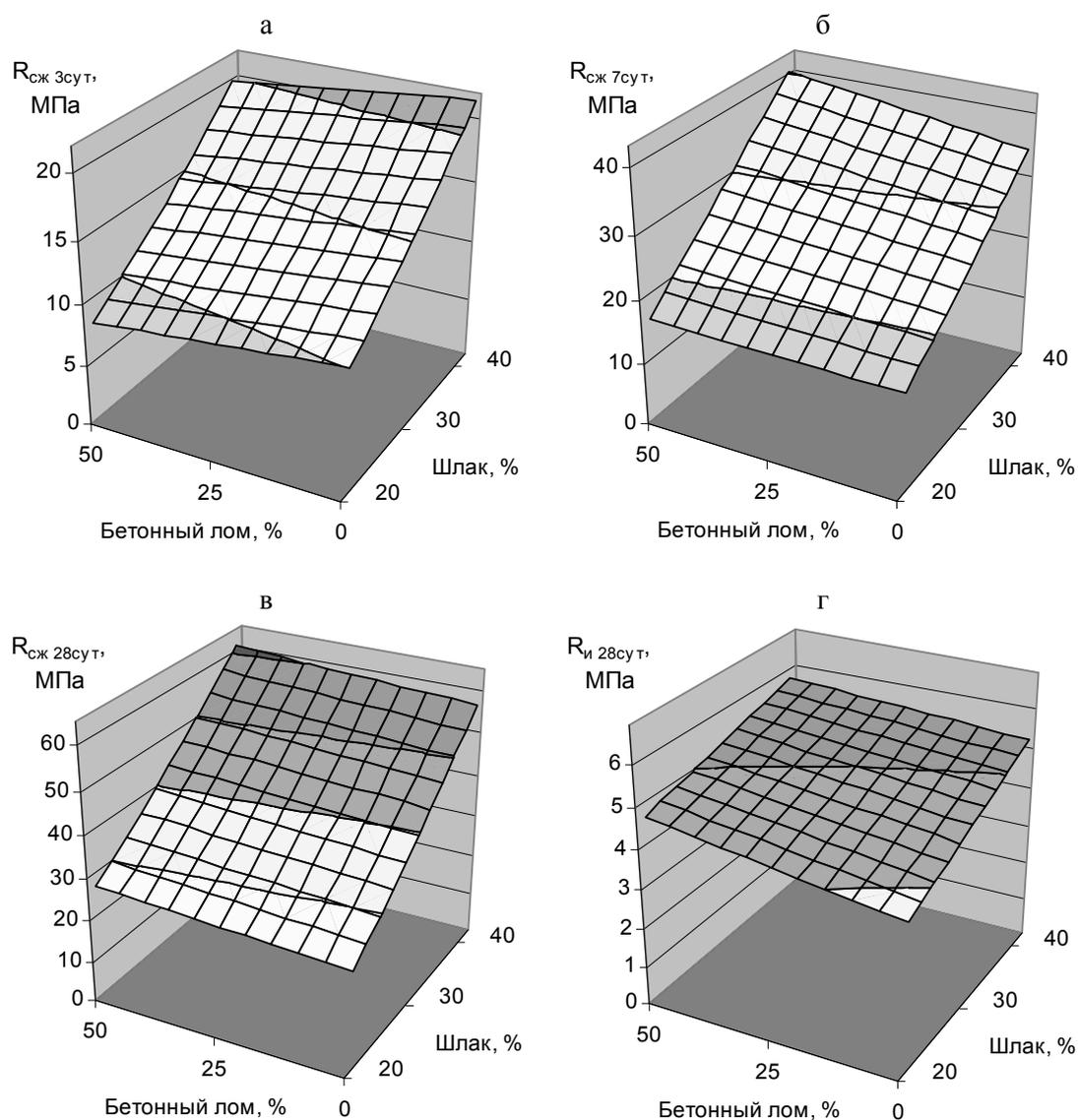


Рис. 1. Влияние доли шлака в вяжущем и доли замещения в нем дисперсного гранита на измельченный отсев дробления бетонного лома на прочность бетона при сжатии в возрасте 3 (а), 7 (б) и 28 суток (в), а также прочность при изгибе в возрасте 28 суток (г)

Как видно из данных в табл. 3 и графиков на рис. 2,а, исследованные геополимерные бетоны характеризуются значительной аутогенной усадкой при твердении во влажных условиях. На рис. 2 видно, что аутогенная усадка и усадка бетона при высыхании зависят в основном от расхода шлака; при увеличении расхода шлака с 20 до 40 % усадка значительно снижается.

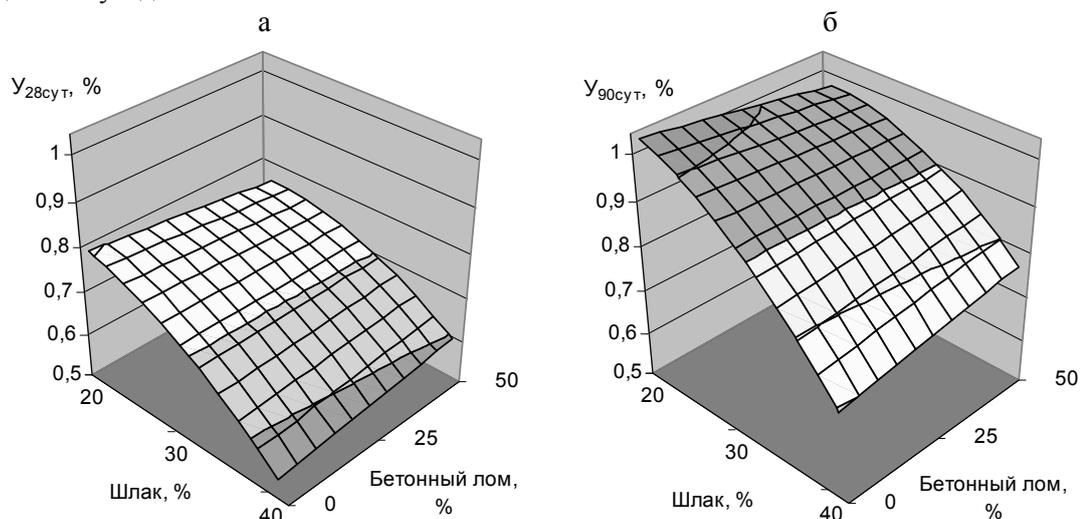


Рис. 2. Влияние доли шлака в вяжущем и доли замещения в нем дисперсного гранита на измельченный отсев дробления бетонного лома на усадку через 28 (а) и 90 суток (б)

Как видно из графической зависимости на рис. 3, водопоглощение исследованных геополимерных бетонов значительно снижается при увеличении доли шлака в вяжущем и возрастает при повышении степени замещения гранитного порошка измельченным бетонным ломом.

Положительное влияние расхода шлака на водопоглощение и прочность можно объяснить получением более плотной структуры геополимерного камня при повышенном содержании в вяжущем шлака. При этом использование высокой дозировки шлака оправданно только для получения бетонов с высокой прочностью – более 40–50 МПа, доля которых в современном строительстве невелика.

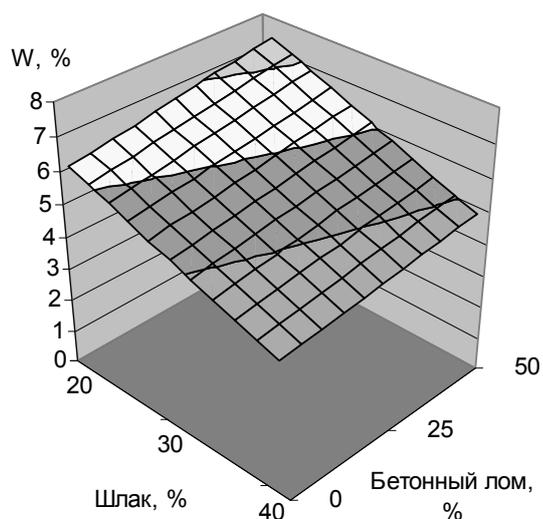


Рис. 3. Влияние доли шлака в вяжущем и доли замещения в нем дисперсного гранита на измельченный отсев дробления бетонного лома на водопоглощение геополимерного бетона

Выводы

Проведенные исследования показали, что расход шлака в геополимерном вяжущем может быть использован в качестве фактора эффективного управления свойствами бетона. Полученные зависимости можно рекомендовать для проектирования состава бетона с заданными свойствами.

Измельченные отсеvy дробления бетонного лома могут служить в качестве замены гранитного порошка без снижения прочности исследованного вяжущего. При этом необходимо учитывать негативное влияние этого материала на водопоглощение геополимерного бетона.

Список литературы

1. Davidovits, J. Geopolymer Chemistry and Applications / J. Davidovits. – 4th ed. – France, Saint-Quentin: Institute Geopolymer, 2015. – 644 p.
2. Ерошкина, Н.А. Минерально-щелочные вяжущие: моногр. / Н.А. Ерошкина, В.И. Калашников, М.О. Коровкин. – Пенза: ПГУАС, 2012. – 152 с.
3. Ерошкина, Н.А. Малоэнергоёмкие ресурсосберегающие технологии производства вяжущих для конструкционных бетонов / Н.А. Ерошкина, М.О. Коровкин, С.В. Аксенов // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 6. – С. 45.
4. Ерошкина, Н.А. Вяжущее, полученное из магматических горных пород с добавкой шлака, и бетон на его основе / Н.А. Ерошкина, В.И. Калашников, М.О. Коровкин // Региональная архитектура и строительство. – 2011. – № 2. – С. 62–65.
5. Ерошкина, Н.А. Геополимерные строительные материалы на основе промышленных отходов: моногр. / Н.А. Ерошкина, М.О. Коровкин. – Пенза: ПГУАС, 2014. – 128 с.
6. Ерошкина, Н.А. Усадка геополимерного вяжущего на различных этапах его структурообразования / Н.А. Ерошкина, М.О. Коровкин // Инженерный вестник Дона. – 2016. – № 2 (41). – С. 87.
7. Ерошкина, Н.А. Влияние состава и режимов твердения на свойства геополимерного вяжущего на основе отсеvов дробления гранитного щебня / Н.А. Ерошкина, М.О. Коровкин, Е.И. Тымчук // Молодой ученый. – 2015. – №4. – С. 169-173.
8. Ерошкина, Н.А. Морозостойкость геополимерного бетона / Н.А. Ерошкина, М.О. Коровкин, Е.И. Тымчук // Современные научные исследования и инновации. – 2015. – № 3. – Ч. 2. – URL: <http://web.snauka.ru/issues/2015/03/50818> (дата обращения: 16.09.2020).
9. Ерошкина, Н.А. Геополимерные вяжущие на базе магматических горных пород и бетоны на их основе / Н.А. Ерошкина, М.О. Коровкин // Бетон и железобетон – взгляд в будущее: научные труды III Всероссийской (II Международной) конференции по бетону и железобетону: в 7 т. – М., 2014. – С. 294-305.
10. Ерошкина, Н.А. Исследование деформационно-прочностных свойств бетона на основе минерально-щелочного вяжущего / Н.А. Ерошкина, М.О. Коровкин // Вестник МГСУ. – 2011. – Т 2, № 2. – С. 314–319.
11. Ерошкина, Н.А. Исследование коррозии геополимерного бетона с минеральными добавками / Н.А. Ерошкина, М.Ю. Чамурлиев, М.О. Коровкин // Материалы XIV Международной научно-технической конференции молодых ученых, посвященной памяти профессора В.И. Калашникова «Теория и практика повышения эффективности строительных материалов» / под общ. ред. М.О. Коровкина. – Пенза, 2019. –С. 30-33.
12. Ерошкина, Н.А. Сернокислотная коррозия геополимерных бетонов с минеральными добавками на основе отходов / Н.А. Ерошкина, М.Ю. Чамурлиев, М.О. Коровкин // Транспортные сооружения. – 2019. – Т. 6, № 3. – С. 25.

References

1. Davidovits, J. Geopolymer Chemistry and Applications / J. Davidovits.– 4th ed. – France, Saint-Quentin: Institute Geopolymer, 2015. – 644 p.

-
2. Eroshkina, N.A. Mineral-alkali binders: monogr. / N.A. Eroshkina, V.I., Kalashnikov M.O. Korovkin. – Penza: PGUAS, 2012. – 152 p.
 3. Eroshkina, N.A. Low-power resource saving technologies of binders for structural concrete / N.A. Eroshkina, M.O. Korovkin, S.V. Aksenov // Modern problems of science and education. – 2013. – № 6. – P. 45.
 4. Eroshkina, N.A. A binder from magmatic rocks with addition of slag and concrete on its basis / N.A. Eroshkina, V.I. Kalashnikov, M.O. Korovkin // Regional architecture and engineering. – 2011. – № 2. – P. 62–65.
 5. Eroshkina, N.A. Geopolymer building materials based on industrial waste: monograph. / N.A. Eroshkina, M.O. Korovkin. – Penza: PGUAS. – 128 p.
 6. Eroshkina, N.A. Shrinkage of geopolymer binder at different stages of its structure formation / N.A. Eroshkina, M.O. Korovkin // Engineering Herald of Don. – 2016. – № 2 (41). – P. 87.
 7. Eroshkina, N.A. Influence of the composition and hardening regime on the properties of geopolymer binder based on screenings of crushing of crushed granite / N.A. Eroshkina, M.O. Korovkin, E.I. Tymchuk // Young Scientist. – 2015. – №4. – P. 169–173.
 8. Eroshkina, N.A. Frost-resistance of geopolymer concrete / N.A. Eroshkina, M.O. Korovkin, E.I. Tymchuk // Modern scientific researches and innovations. – 2015. – № 3. – P. 2. – URL: <http://web.snauka.ru/issues/2015/03/50818>.
 9. Yeroshkina, N.A. Geopolymer binders based on magmatic rocks and concretes based on them / N.A. Eroshkina, M.O. Korovkin // Concrete and reinforced concrete – glance at future: 3rd All-Russian (International) Conference on Concrete and Reinforced Concrete: in 7 Vol. – M., 2014. – P. 294–305.
 10. Eroshkina, N.A. Study deformation and strength properties of concrete based on mineral-alkaline binder / N.A. Eroshkina, M.O. Korovkin // Vestnik MGSU. – 2011. – Vol. 2, Iss. 2. – P. 314–319.
 11. Eroshkina, N.A. Investigation of the corrosion of geopolymer concrete with mineral additives / N.A. Eroshkina, M.Yu. Chamurliev, M.O. Korovkin // Materials of the XIV International Scientific and Technical Conference of Young Scientists dedicated to the memory of Professor V.I. Kalashnikov «Theory and practice of increasing the efficiency of building materials» / Edited by M.O. Korovkin. – Penza, 2019. – P. 30–33.
 12. Eroshkina, N.A. Sulfuric acid corrosion of geopolymer concrete with mineral additives from wastes / N.A. Eroshkina, M.Yu. Chamurliev, M.O. Korovkin // Russian Journal of Transport Engineering. – 2019. – Vol. 6, Iss. 3. – P. 25.

Пензенский государственный университет
архитектуры и строительства

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

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

Сорокин Дмитрий Сергеевич,
аспирант
E-mail: techbeton@pguas.ru

*Penza State University of Architecture
and Construction*

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

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

Sorokin Dmitri Sergeevich,
Postgraduate student
E-mail: techbeton@pguas.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИКИ ОТВЕРЖДЕНИЯ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ ОТХОДОВ ПЕНОПОЛИСТИРОЛА

С.Н. Кислицына, Д.С. Сорокин

В качестве защитных покрытий бетонных поверхностей строительных конструкций предприятий по производству стекла предложено использовать лакокрасочные составы на основе отходов пенополистирола. Исследована кинетика отверждения предложенных покрытий.

Ключевые слова: отходы пенополистирола, лакокрасочные покрытия, кинетика отверждения, растекаемость, жизнеспособность.

THE STUDY OF THE KINETICS OF CURING PROTECTIVE COATINGS BASED ON STYROFOAM WASTE

S.N. Kislitsyna, D.S. Sorokin

As protective coatings for concrete surfaces of building structures of glass manufacturing enterprises, it is proposed to use paint and varnish compositions based on waste polystyrene foam. The kinetics of curing of the proposed coatings is investigated.

Keywords: waste of expanded polystyrene, paint coatings, curing kinetics, spreadability, viability.

Введение. Среди промышленных пластиков в нашей стране полистирол (ПС) и его сополимеры занимают третье место. Потенциальные ресурсы вторичного сырья для этого термопласта составляют примерно 50 тыс.т в год. Отходы ПС накапливаются в виде вышедших из употребления изделий из ПС и пенополистирола (ППС), а также в виде промышленных (технологических) отходов, создавая одну из сложных экологических проблем [1, 2].

Одним из путей утилизации этих отходов является производство лакокрасочных материалов. Вводя в раствор отходов ППС пигменты и наполнители, можно получать составы со свойствами лака или эмали. Лакокрасочные составы на основе раствора отходов ППС предлагается использовать для противокоррозионной защиты бетонных строительных конструкций на предприятиях по производству стекла.

Экспериментальные исследования. Были проведены исследования кинетики отверждения предложенных лакокрасочных покрытий.

Кинетику отверждения изучали на лакокрасочных составах, приготовленных на основе 15%-го раствора отходов ППС в различных растворителях при оптимальной степени наполнения [1].

В качестве растворителей применяли о-ксилол, сольвент и смесевой растворитель (смесь ацетона с бензином в соотношении 1:1). В качестве наполнителя – смесь фторида кальция с пигментом.

Оценку процесса отверждения проводили по следующим показателям: скорости испарения растворителей, растекаемости, времени высыхания «от пыли», времени «полного высыхания» и жизнеспособности составов.

На рис. 1 приведены результаты исследования кинетики испарения растворителей.

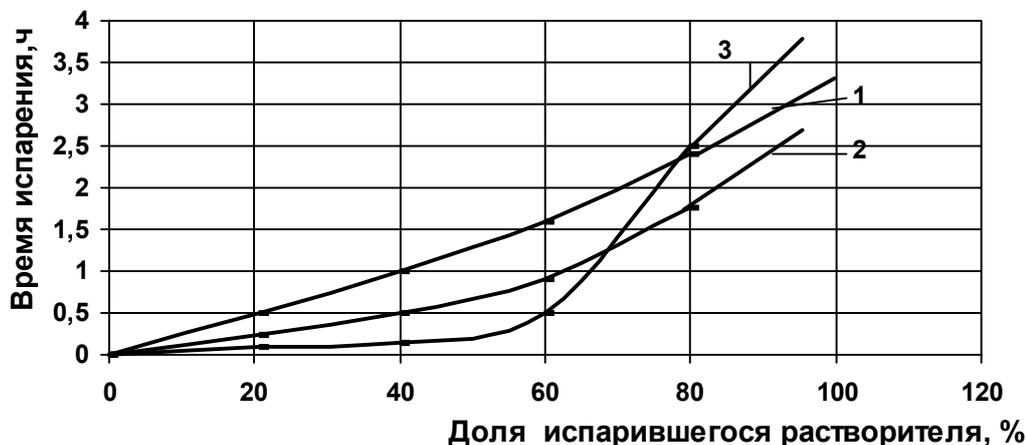


Рис. 1. Кинетика испарения растворителей:
1 – о-ксилол; 2 – сольвент; 3 – смесевой растворитель

В результате проведенных исследований установлено, что наиболее интенсивно в первые часы отверждения лакокрасочного состава испаряется смесевой растворитель. Это закономерно, т.к. давление пара у смесового растворителя выше, чем у о-ксилола и сольвента, а, как известно, скорость испарения пропорциональна произведению упругости паров и молекулярного веса жидкости. Причем интенсивное испарение происходит до испарения примерно 60-65 % растворителя, далее скорость испарения заметно уменьшается. Это объясняется тем, что при отвердевании пленки увеличивается вязкость раствора полимера, что затрудняет диффузионный перенос растворителей. В поверхностном слое, с которого происходит испарение, концентрация пленкообразующего выше, чем во внутреннем, и для испарения необходимо преодоление сопротивления поверхностной пленки жидкости.

При использовании в качестве растворителей о-ксилола и сольвента скорость испарения близка к постоянной. Диффузионные процессы в пленке носят более равномерный характер.

Испарение растворителей сопровождается изменением многих параметров системы: уменьшается объем материала, увеличивается поверхностное натяжение, понижается температура пленки вследствие затраты теплоты на парообразование [3, 4]. Эти изменения сказываются на структуре и свойствах лакокрасочных покрытий. Наиболее качественные покрытия получают из стабильных растворов, пленкообразование в которых не связано с фазовыми превращениями системы.

Одной из важных технологических характеристик лакокрасочных составов является их растекаемость, т.к. только при хорошей растекаемости можно получить гладкую и ровную пленку без потеков, пор, «кратеров» и других дефектов.

При нанесении лакокрасочных составов кистевым методом растекаемость оценивают розливом, а при нанесении пневматическим распылением оценивают степень шероховатости.

Методика определения розлива лакокрасочных составов заключается в нанесении пяти пар параллельных полос материала и определении степени растекаемости по числу слившихся полос. Нанесение полос производили специальным приспособлением.

Оценку степени растекаемости пяти пар параллельных полос осуществляли по десятибалльной шкале «розлива».

Определение степени шероховатости поверхности покрытия (профиля поверхности) выполняли с помощью профилографа. Параметры шероховатости определяли согласно [6]. Размер неровностей характеризуется высотой h и основанием l и оценивается по пятибалльной системе.

Результаты определения растекаемости лакокрасочных составов при нанесении кистью и пневматическим распылением приведены в табл.1 и 2.

Т а б л и ц а 1

Зависимость растекаемости (розлива) лакокрасочного состава от вида растворителя

| Вид растворителя | Количество слившихся пар полос | Степень растекаемости (розлива), балл |
|-----------------------|--------------------------------|---------------------------------------|
| О-ксилол | 5 | 10 |
| Сольвент | 5 | 10 |
| Смесевой растворитель | 3,5 | 7 |

Т а б л и ц а 2

Влияние различных видов растворителей на величину шероховатости лакокрасочных покрытий

| Вид растворителя | Величина шероховатости, мкм |
|-----------------------|-----------------------------|
| О-ксилол | 8,5 |
| Сольвент | 9,6 |
| Смесевой растворитель | 9,8 |

Как показали проведенные исследования, лакокрасочные составы, полученные из растворов ППС в смесевом растворителе, и при кистевом, и при нанесении пневматическим распылением обладают меньшей растекаемостью по сравнению с составами, полученными из растворов в о-ксилоле и сольвенте. Можно предположить, что при использовании смесевых растворителей могут возникнуть такие дефекты пленок, как наличие «шагрени», лучевидных разводов, сотовой структуры, особенно при нанесении лакокрасочных составов при повышенной температуре.

В ходе исследования определяли время высыхания «от пыли» и время «полного высыхания». Оба эти показателя зависят от рабочей вязкости полимерного раствора и от такого качественного показателя, как критическая вязкость.

Время и степень высыхания лакокрасочных составов определяли согласно [5]. Оценку степени высыхания проводили по семибалльной шкале.

В табл. 3 приведены данные исследования времени и степени высыхания лакокрасочного состава в различных растворителях.

Т а б л и ц а 3

| Вид растворителя | Время высыхания до степени «от пыли», мин | Время высыхания до степени «5», мин |
|-----------------------|---|-------------------------------------|
| О-ксилол | 45 | 100 |
| Сольвент | 20 | 60 |
| Смесевой растворитель | 7 | 40 |

На рис. 2 и 3 представлены зависимости между различными точками испарения и такими характеристиками лакокрасочного состава, как время высыхания «от пыли» и время «полного высыхания».

Как видно из полученных экспериментальных данных, для изученных нами растворителей существует прямо пропорциональная зависимость между временем высыхания «от пыли» и точкой испарения первых 30% растворителя. Эта зависимость справедлива при использовании растворителей приблизительно с одинаковой растворяющей способностью к данному полимеру. Применяемые нами растворители обладают примерно одинаковой растворяющей способностью. Так, параметр раствори-

мости, δ , для о-ксилола – $8,8(\text{кал/см}^3)^{1/2}$; сольвента – $8,74(\text{кал/см}^3)^{1/2}$; смесового растворителя – $8,6(\text{кал/см}^3)^{1/2}$.

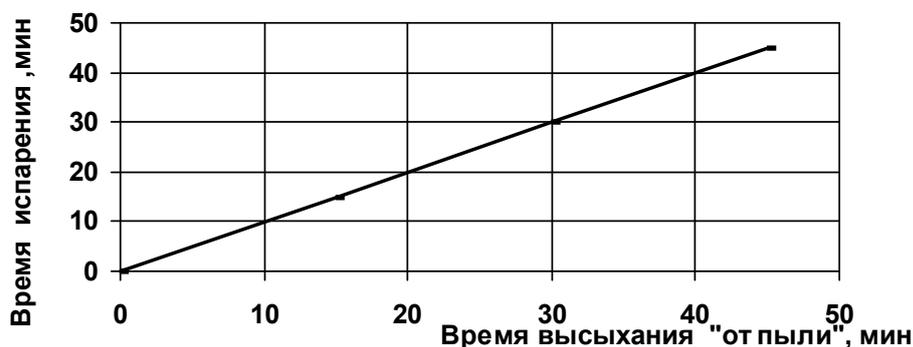


Рис. 2. Соотношение между временем высыхания «от пыли» лакокрасочных составов и временем испарения 30 % растворителя

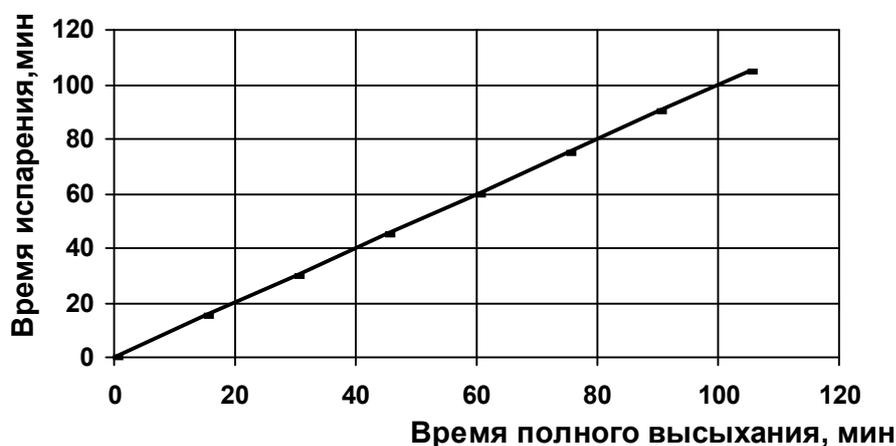


Рис.3. Соотношение между временем «полного высыхания» лакокрасочных составов и временем испарения 60% растворителя

Прямо пропорциональная зависимость существует и между временем «полного высыхания» и точкой испарения 60% растворителя (см. рис. 3). Так как время «полного высыхания» пленки не зависит от растворяющей способности, то этой корреляцией допустимо пользоваться при сравнении любых растворителей.

Важной технологической характеристикой лакокрасочных составов является и их жизнеспособность. За результат измерения жизнеспособности принимали значение $\tau \pm 0,1\tau$, где τ – усредненное время, при котором относительная вязкость (τ_i/τ_o) достигает значения 1,15.

Проведенные определения жизнеспособности показали, что значение измеренного показателя (τ_i/τ_o) равно 1,15 – при использовании смесового растворителя; 1,11 – о-ксилола и 1,12 – сольвента. При этом жизнеспособность исследуемого лакокрасочного состава составляет 1,5 ч – при использовании смесового растворителя, 4 ч – о-ксилола и 3 ч – сольвента.

Заключение. Анализ полученных экспериментальных данных показывает, что наибольшей жизнеспособностью обладают лакокрасочные составы на основе 15% раствора отходов пенополистирола в о-ксилоле, а наименьшей – в смесовом растворителе. Это закономерно, т.к. испарение смесового растворителя происходит более интенсивно.

Список литературы.

1. Прошин, А.П. Реологические свойства лакокрасочных материалов, используемых для защиты бетонных конструкций / А.П. Прошин, В.И. Логанина, С.Н. Кислицына // Лакокрасочные материалы и их применение. – 1997.– № 10. – С.20–22.
2. Стрюченко, А.А. Новые методы утилизации бытовых и промышленных отходов пенополистирола / А.А. Стрюченко, Ю.Ю. Ладарева, Т.А. Маирко // Экономический путь к высококачественному литью: тез. докладов Междунар. науч.-техн. конгр. (Киев, 7-9 июня 2005 г.). – Киев, 2005. – С. 172.
3. Дринберг, С.А. Растворители для лакокрасочных материалов / С.А. Дринберг, Э.Ф. Ицко. – Л.: Химия, 1986. – 206 с.
4. Ицко, Э.Ф. Противокоррозионные лакокрасочные материалы / Э.Ф. Ицко, В.Д. Запорожец, С.А. Дринберг, В.С. Куликов // Лакокрасочные материалы и их применение. – 1994. – №4.
5. ГОСТ 19007-73. Материалы лакокрасочные. Метод определения времени и степени высыхания. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2003.
6. ГОСТ 2789-73. Шероховатость поверхности. Параметры и характеристики. – М.: Стандартинформ, 2018.

References

1. Proshin, A.P. Rheological properties of paint and varnish materials used to protect concrete structures / A.P. Proshin, V.I. Loganina, S.N. Kislitsyna // Paint and varnish materials and their application. – 1997. – No. 10. – P. 20–22.
2. Strochenko, A.A. New methods of recycling household and industrial waste polystyrene / A.A. Strochenko, Y.Y. Lazareva, T.A. Marko // Economic path to high-quality casting: tez. reports International scientific and technical Congress (Kiev, June 7-9, 2005). – Kiev, 2005. – P. 172.
3. Drinberg, S.A. Solvents for paint and varnish materials / S.A. Drinberg, E.F. Itsko. – L.: Chemistry, 1986. – 206 p.
4. Itsko, E.F. Anticorrosive paint materials / E.F. Itsko, V.D. Zaporozhets, S.A. Drinberg, V.S. Kulikov // Paint and varnish materials and their application. – 1994. – № 4.
5. GOST 19007-73. Paint and varnish materials. Method for determining the time and degree of drying. – M.: Publishing house standards, 2003.
6. GOST 2789-73. Surface roughness. Parameters and characteristics. – M.: Standartinform, 2018.

Пензенский государственный университет
архитектуры и строительства

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

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

Куимова Елена Ивановна,
кандидат технических наук, доцент кафедры
«Математика и математическое
моделирование»
E-mail: lena-kui@mail.ru

*Penza State University of Architecture
and Construction*

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

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

Kuimova Elena Ivanovna,
Candidate of Sciences, Associate Professor of the
department «Mathematics and Mathematical
Modeling»
E-mail: lena-kui@mail.ru

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СТОЙКОСТИ ЗАЩИТНО-ДЕКОРАТИВНЫХ ПОКРЫТИЙ

В.И. Логанина, Е.И. Куимова

Дан обзор методов прогнозирования долговечности защитно-декоративных наружных стен зданий. Представлены модели их долговечности.

Ключевые слова: лакокрасочные покрытия, долговечность, методы прогнозирования, модель

FORECASTING THE RESISTANCE OF PROTECTIVE- DECORATIVE COATINGS

V.I. Loganina, E.I. Kuimova

A review of methods for predicting the durability of protective and decorative exterior walls of buildings is presented. Longevity models are presented. The models of their durability are presented.

Keywords: paint coatings, durability, forecasting methods, model

Защитно-декоративные покрытия наружных стен зданий в условиях эксплуатации стареют, свойства их изменяются. Предсказание изменений свойств лакокрасочного покрытия во времени и составляет задачу прогнозирования. Задачи прогноза можно решать на трех уровнях – эмпирическом, полуэмпирическом и неэмпирическом [1].

Эмпирическое прогнозирование проводится по результатам испытаний данного материала. Его основой являются математические методы, математическая статистика, факторный анализ, теория планирования эксперимента. Определяемые в ходе такого прогнозирования параметры не имеют заранее определенного физического смысла.

При неэмпирическом прогнозировании проводится изучение физикохимии процессов, приводящих к изменению свойств материала. В его основе лежат методы исследования, присущие физике, химии и другим естественным наукам, логический анализ и обобщение результатов исследования ряда материалов в аналогичных условиях. Параметры, определяемые в ходе такого прогнозирования, имеют определенный физический смысл, и поэтому существует принципиальная возможность их расчета или измерения независимыми методами.

Реальное прогнозирование, строго говоря, всегда является полуэмпирическим и содержит в себе элементы и эмпирического, и неэмпирического прогнозирования.

Общий методический подход к прогнозированию срока службы полимерных покрытий основан на фундаментальных исследованиях в области физико-химических

проблем старения полимеров [1, 2] и включает в себя следующие основные этапы [3, 4]:

- выбор свойств покрытия, изменение которых в процессе старения приводит к его эксплуатационной непригодности; установление допустимого уровня изменения свойств (отказ);

- установление условий проведения ускоренных испытаний, при которых ощутимо изменение выбранных параметров покрытия; статистическая обработка экспериментальных данных;

- установление математической зависимости изменения свойства, определение энергетических констант процесса старения, экстраполяция функции старения на реальные условия эксплуатации; построение кривой прогноза.

Указанная методология прогнозирования дает положительные результаты в тех случаях, когда:

- механизм старения материала характеризуется одной или несколькими связанными между собой «отказными» характеристиками, например потерей прочностных свойств.

- исследуется механизм старения при конкретных условиях эксплуатации и заданных характеристиках старения.

Например, прогнозные решения могут быть получены при оценке светостойкости [5, 6] и долговечности покрытий в жидких агрессивных средах [7].

Долговечность покрытий характеризуется временем, в течение которого они сохраняют эксплуатационные свойства: защитные, декоративные и т. д. В связи с этим понятие «старение» означает процесс потери свойств, необходимых для конкретного назначения покрытий. В определение *назначения* покрытия входят два понятия:

- характер внешнего воздействия (атмосферное, коррозионная среда и т. д.)
- функция на подложке (защита от коррозии подложки, сохранение декоративных и защитных свойств, в том числе в условиях световоздействия).

В настоящее время актуальной остается проблема прогноза качества покрытий для наиболее широкой области применения – эксплуатации в атмосферных условиях. Это связано, по-видимому, как с многофакторностью воздействия на покрытие (УФ-излучение, повышенные и пониженные температуры, повышенная влажность и др.), так и с протеканием процесса разрушения многослойных покрытий одновременно по нескольким механизмам.

Особенность лакокрасочных покрытий состоит в том, что они представляют собой относительно тонкие (40–200 мкм) композиционные пленки из грунтовки и покрывного лакокрасочного материала, обладающие межслойной адгезией и адгезией к подложке. Старению могут подвергаться все составные части такой «конструкции». При этом для каждой части характерны различные механизмы этого процесса. Старение лакокрасочного покрытия сопровождается, как правило, деструкцией и увеличением степени шивки, снижением адгезионной прочности, коррозией подложки. Однако в различных условиях скорость протекания тех или иных механизмов старения может отличаться, и поэтому старение всей «конструкции» защитного лакокрасочного покрытия будет определяться преимущественным старением отдельных его элементов.

Для материалов с низким барьерным механизмом защиты основным фактором старения может являться накопление влаги на границе раздела «покрытие – подложка» и, как следствие, потеря адгезионной прочности. Прочность адгезионной связи может снижаться также в результате накопления механической усталости при температурных перепадах, приводящих к отслаиванию покрытий. Существенную помощь в решении задач прогнозирования срока службы покрытий может оказать изучение изменения адгезионных и физико-механических свойств.

На данный момент накоплены обширные экспериментальные данные по результатам длительных испытаний покрытий в атмосферных условиях различных климатических зон России, ближнего и дальнего зарубежья. Весь этот экспериментальный опыт базируется на балльных оценках показателей свойств, применяемых в качестве

критерия отказа при определении сроков службы покрытий. В основе балльных оценок лежит главным образом визуальный осмотр образцов или фиксирование изменения характеристик с помощью соответствующих приборов с последующей градацией количества и степени изменений по баллам [8, 9].

По балльным оценкам установлены реальные сроки атмосферостойкости покрытий для многих типов лакокрасочных материалов, различных систем покрытий с учетом разных подложек, способа их предварительной обработки, типа грунтовок, количества наносимых слоев и т.д. Эти данные послужили основой для введения показателя атмосферостойкости покрытия в соответствующие нормативные документы.

Для оценки долговечности нужно знать комплекс исходных характеристик, скорость разрушения покрытий, которую оценивают по изменению характеристических свойств во времени, а также предельно допустимые значения характеристических свойств.

Необходима адекватная назначению покрытия система оценки его состояния. Для атмосферостойких покрытий предложена хорошо обоснованная система оценки состояния покрытий в процессе эксплуатации отдельно декоративного вида (по изменению блеска, цвета, грязеудержания и меления) и защитных свойств (по растрескиванию, отслаиванию, образованию пузырей, коррозии и размерам отдельных разрушений). В этом случае по известным квалиметрическим формулам [4] отдельно вычисляют комплексные характеристики декоративных D и защитных S свойств:

$$D = \sum_{i=1}^n k_i x_i ; \quad (1)$$

$$S = 0,17D + \sum_{i=1}^n k_i x_i , \quad (2)$$

где x_i и k_i – оценки характеристических свойств и их весомости соответственно.

Несмотря на то, что вклад декоративных свойств в защитные, выраженный коэффициентом 0,17, условен, эта система оценки состояния покрытий оказалась практически пригодной для:

- характеристики его разрушений,
- разработки методов ускоренных испытаний,
- оценки относительной долговечности,
- для прогнозирования длительности эксплуатации атмосферостойких покрытий без заметного изменения защитных свойств путем сопоставления времени начала разрушения покрытий в естественных условиях и при ускоренных испытаниях.

Возможно прогнозирование долговечности покрытий по начальному изменению характеристических свойств. Характеристические свойства для покрытий различного назначения обычно выбираются исходя из опыта эксплуатации. Для некоторых типов покрытий этот набор уточнен на основании экспертной квалиметрии [10], которая к тому же предоставляет достаточно достоверные значения весовых констант k_i этих показателей, определяющих вклад данной характеристики в эксплуатационный ресурс R . Значения R – комплексной характеристики состояния покрытия – подсчитывают двояко: либо как сумму оценок свойств с учетом их весов

$$R_c = \sum_i k_i x_i , \quad (3)$$

либо как их произведение

$$R_n = \prod_i k_i x_i . \quad (4)$$

Поскольку эксплуатационных характеристик покрытий обычно несколько, а достижение хотя бы одной из них минимального уровня означает отсутствие эксплуатационного ресурса, то лучше пользоваться величиной R_n , вычисляемой по формуле

$$R_n = \prod_i (x_i - x_i^0), \quad (5)$$

где R_n – ресурс эксплуатационных свойств; x_i, x_i^0 – текущее и недопустимое значения i -го свойства, выраженные в виде оценок.

Если любая характеристика достигла $x_i = x_i^0$, то $R_n = 0$. Использование относительных характеристик позволяет применять их в качестве безразмерных величин в одной формуле, что, естественно, лучше. Недостатком предложенных формул является то, что зачастую величины предельных (недопустимых) значений x_i^0 свойств назначаются произвольно. Кроме того, для покрытий различных назначений допускается различная степень разрушения. Она обычно определяется конкретными требованиями к окрашиваемой поверхности.

Аналогичный принцип был использован в работе [4], авторы которой по продолжительности испытаний до появления отслаивания и растрескивания покрытий Q_o и Q_p рассчитывали так называемый эффективный коэффициент долговечности Q :

$$Q = \frac{Q_o Q_p}{\sqrt{Q_o^2 + Q_p^2}}. \quad (6)$$

В ряде работ предложено оценивать долговечность покрытий по внутренним напряжениям. Роль внутренних напряжений при разрушении покрытий рассмотрена в [12, 13].

Возрастание внутренних напряжений приводит к развитию “макропроцессов” разрушения, выражающихся в появлении трещин и нарушении адгезии. Для более эластичных покрытий характерны не макро-, а микропроцессы укрупнения полимолекулярных образований, и за счет этого изменение объемных свойств, связанных с плотностью упаковки макроцепей (проницаемость, физико-механические характеристики и др.). Однако и в этом случае внутренние напряжения в покрытии, если они не релаксируют в процессе или сразу после формирования покрытий, отрицательно сказываются на способности покрытия сопротивляться внешним разрушающим факторам.

В покрытии существует несколько источников возникновения внутренних напряжений:

- усадка (связанная с испарением растворителя и процессами химического отверждения),
- неравномерность усадки в поверхностном и адгезионном слоях покрытий,
- различия в коэффициентах термического расширения покрытий и подложки, действия механических нагрузок и т. д.

В [13] показано, что разрушение наступает при таких значениях внутренних напряжений, которые соизмеримы с прочностью покрытий. Зубовым П.И. предложено долговечность материалов определять по формуле

$$\tau = A \exp(-\gamma\sigma), \quad (7)$$

где γ – константа материала; σ – величина внутреннего напряжения.

Долговечность материалов в поле механических сил, т. е. когда требуется оценка сохранности физико-механических характеристик [14, 15], Журковым С.Н. предложено определять по формуле

$$\frac{\tau}{\tau_0} = \exp\left(\frac{U_0 - \gamma\sigma}{RT}\right), \quad (8)$$

где $\frac{\tau}{\tau_0}$ – относительная долговечность; σ – внешняя удельная нагрузка; U_0 – энергия активации; R – константа Больцмана; T – абсолютная температура; γ – константа материала.

Возможно прогнозирование долговечности покрытий путем математического описания кинетических закономерностей взаимодействия покрытий с компонентами внешней среды. Систематизация процессов, протекающих в полимерных материалах под воздействием агрессивных сред, и методов их описания на основе фундаментальных уравнений диффузии и кинетики приведена в [16].

Другой подход заключается в воспроизведении одинаковой степени изменения эксплуатационных свойств при форсированных и реальных условиях старения. В этом случае обязательным условием является неизменность механизма старения покрытий. Однако если моделируются длительные условия эксплуатации, то трудно добиться, чтобы скорость роста и характер повреждений совпадали при ускоренных и длительных испытаниях. В том случае, когда соблюдается соответствие между этими видами испытаний, для прогнозирования могут быть использованы коэффициенты пересчета. Коэффициент пересчета представляет собой отношение продолжительности испытаний в природных и лабораторных условиях до одинаковой степени разрушения:

$$K_{\text{п}} = \frac{\tau_{\text{пр}}}{\tau_{\text{уск}}} . \quad (9)$$

В [9] показано, что для вычисления $\tau_{\text{н}}$ покрытий на основе различных лакокрасочных материалов в первом приближении может быть использована функция вида

$$\tau_{\text{н}} = a\tau_{\text{у}}^b , \quad (10)$$

где a и b – константы.

Прогнозирование долговечности покрытий по результатам ускоренных испытаний возможно лишь для отдельных видов разрушения покрытий, обладающих высокой атмосферостойкостью.

Для таких покрытий долговечность $\tau_{\text{н}}$ может быть рассчитана с использованием линейной зависимости $\tau_{\text{н}}$ от продолжительности ускоренных испытаний $\tau_{\text{у}}$ и коэффициента k_{σ} , характеризующего различную степень разрушения:

$$\tau_{\text{н}} = 25\tau_{\text{у}}k_{\sigma} . \quad (11)$$

Таким образом, если ускоренные испытания проводились до той же степени разрушения, при которой в реальных условиях эксплуатации покрытие утрачивает эксплуатационную пригодность, то $k_{\sigma}=1$ и коэффициент пересчета составляет 25%. В других случаях при сопоставлении результатов ускоренных (в условиях искусственных климатических условий) и натуральных испытаний покрытий характер разрушений оказывается идентичным лишь на начальном этапе [17].

В [4] высказано предположение, что процессы разрушения покрытий, имеющие в основном активационную природу, должны подчиняться уравнению Больцмана – Френкеля

$$t_{\text{эфф}} = \frac{1}{\nu_0} \exp \frac{U}{kT} , \quad (12)$$

где $t_{\text{эфф}}$ – эффективное время протекания активационного процесса; ν_0 – частота флуктуации энергии; U – энергия активации.

На основании этого уравнения для суммарного процесса разрушения под активизирующим воздействием всех внешних факторов получено выражение

$$\tau_n = \tau_0 \exp \frac{x_i - x_i^0}{k}, \quad (13)$$

где τ_n – нормативная долговечность; τ_0 – индукционный период эксплуатации покрытий, в течение которого изменение характеристических свойств незначительно; k – константа.

Формула предполагает условие эксплуатации пригодности покрытий

$$x_1 > x_1^0, x_2 > x_2^0, \dots, x_n > x_n^0,$$

где n – полное число характеристических свойств, а также закономерное изменение любого свойства во времени.

Однако практически свойства покрытий меняются во времени неодинаково. Для усреднения различной скорости изменения свойств покрытий во времени целесообразно прогнозировать изменение комплексных характеристик R_n , а не отдельных свойств, в этом случае вид зависимости во времени меняется. Так, если R_n вычисляется по формуле $R_n = \prod_i (x_i - x_i^0)$, то

$$R = R_n^0 \exp \frac{\tau}{\tau_n}, \quad (14)$$

где R_n^0 – исходный ресурс качества покрытий; τ_n – нормативная долговечность в данных условиях эксплуатации; τ – длительность эксплуатации покрытий.

Формулы, приведенные выше, имеют недостаток: они не включают интенсивность внешнего воздействия. Однако коэффициент k в уравнении, определяемый по углу наклона графика полулогарифмической зависимости свойств x_i или ресурса R от времени, характеризует интенсивность внешнего разрушающего воздействия, хотя количественно такая связь пока не установлена. Определение предельных (недопустимых) значений эксплуатационных свойств x_i вносит в расчетные методы прогнозирования наибольшую неопределенность (и погрешность). Для покрытий разного назначения допускаемая степень разрушения будет различной и определяется конкретными требованиями не столько к покрытию, сколько к окрашиваемому объекту. Получается, что недопустимые значения x_0 задаются в значительной степени произвольно. Это обстоятельство свидетельствует о том, что надежнее пользоваться величиной относительной долговечности, оцененной при параллельных испытаниях (в том числе ускоренных), сопоставляя τ_n для разных покрытий при одинаковых x_i^0 и других параметрах. Каневской И. О. [18] удалось обойти трудности оценки x_0 путем привлечения ускоренных испытаний для установления реального состояния вышедшего из строя покрытия и фактического допущения, что относительные скорости различных видов разрушений при ускоренных испытаниях и при естественном атмосферном старении совпадают.

Это позволило учесть сразу несколько факторов, влияющих на интенсивность старения: температуру, относительную влажность W и дозу коротковолновой части ($l < 400$ мм) солнечной радиации H в формуле

$$\tau = \tau_0 W^{-\alpha} H^{-1} \exp \frac{U}{T}, \quad (15)$$

где τ_0, U, α – константы данного покрытия.

Экспериментальные результаты позволяют выделить следующие основные процессы, приводящие к разрушению покрытий:

- химические процессы в покрытиях, протекающие как продолжение процесса отверждения, внешние воздействия лишь изменяют их скорость (олигомерные эпоксины, отвержденные полиамидами);
- химические процессы в покрытиях, в том числе на поверхности пигментов и наполнителей, являющиеся результатом внешних воздействий реагентов (кислорода, кислот, щелочей, воды в случае реакции гидролиза и т.п.) и активирующих факторов (свет, температура), например для хлорвиниловых полимеров);
- физико-химические процессы, приводящие к структурным изменениям (надмолекулярной и фазовой структуры).

В большинстве случаев разрушение покрытий обусловлено одновременным протеканием нескольких процессов.

В зависимости от механизма разрушения покрытия изменяются те или иные его технические свойства, поэтому можно предположить, что сопоставление характера изменения различных свойств позволит установить преобладающий механизм разрушения [16].

Карпухиным О.Н. в [1] предложено для регистрации кинетики старения материала, выяснения механизма этого процесса измерять другие свойства материала: изменение его состава, образование и гибель активных частиц в нем, характеристику подвижности отдельных фрагментов макромолекул и т. п. В связи с этим при прогнозировании срока службы материала первоочередное значение приобретает решение проблемы взаимосвязи различных свойств материала.

В настоящее время известна связь между диэлектрическими потерями и количеством полярных групп в полимере, эластичность полимера связана с долей и химической структурой аморфной фазы полимера. Но, к сожалению, почти отсутствуют работы о количественной связи между кинетикой изменения свойств в полимерном материале и механизмом его старения.

Для прогнозирования стойкости покрытий необходимо знание механизмов старения. Больцманом Л. и Вольтерра В. были сформулированы линейные зависимости, получившие название наследственных. Ими был создан достаточно общий математический аппарат, который в дальнейшем лег в основу наследственной теории старения.

В [19–21] предложено применять наследственную теорию старения к описанию срока службы лакокрасочных покрытий. Если свойства покрытия меняются во времени в результате протекания некоторых внутренних процессов, то материал покрытия должен хранить к данному моменту времени t воспоминание не только о тех воздействиях, которым он подвергался в момент τ , но и о состоянии материала в тот момент. Поэтому старение покрытий можно описывать с помощью функций вида

$$K(t, \tau) = \varphi(\tau) \cdot f(t - \tau). \quad (16)$$

Обобщая зависимость (7), с учетом наследственного фактора в качестве модели изменения свойства стареющего покрытия (например прочности сцепления) в [22–25] авторы рассматривают интегральное соотношение

$$Y = A_0 \exp(-\alpha t) + \int_{\tau_1}^t A_0 \exp(-\alpha \tau) \frac{\partial}{\partial \tau} (\varphi(\tau) \cdot f(t - \tau)) d\tau, \quad (17)$$

где $\varphi(\tau) = C_0 + \frac{C_1}{e^{\beta \tau}}$ описывает процесс старения покрытия; C_0 – предельное значение свойств старого покрытия; $f(t - \tau) = 1 - e^{-\gamma(t - \tau)}$ описывает влияние длительности воздействия и характеризует наследственные свойства покрытия.

Уравнение (17) одновременно учитывает как старение, так и наследственность материала покрытия, а также частичную обратимость процесса изменения прочности сцепления. Предлагаемая модель была апробирована при анализе старения ПВАЦ покрытий [25]. Полученные результаты показали хорошую сходимость экспериментальных и расчетных данных.

Список литературы

1. Карпухин, О.Н. Успехи химии. 1980. Т. 49. Вып. 8. С. 1523–1553.
2. Гойхман Б.Д., Смехунова Т.П. Успехи химии. 1980. Т. 49. Вып. 8. С. 1554–1573.
3. ГОСТ 9.707-81. ЕСЗКС. Материалы полимерные. Методы ускоренных испытаний на климатическое старение. – М., 1981.
4. Верховланцев, В.В. Методы прогнозирования долговечности покрытий / В.В. Верховланцев // Лакокрасочные материалы и их применение. – 1985. – №4. – С. 49–53.
5. Логанина, В.И. Повышение качества лакокрасочных покрытий строительных изделий и конструкций / В.И. Логанина, Л.П. Орендлихер. – М.: АСВ, 2007. – 143 с.
6. ГОСТ 9.045-75. ЕСЗКС. Покрытия лакокрасочные. Ускоренные методы определения светостойкости. – М., 1975.
7. ГОСТ 9.083-78. ЕСЗКС. Покрытия лакокрасочные. Метод ускоренных испытаний на долговечность в жидких агрессивных средах. – М., 1978.
8. ГОСТ 9.401-89, ГОСТ 9.074-77, ГОСТ 9.404-81. ЕСЗКС. Покрытия лакокрасочные изделий, предназначенные для эксплуатации в районах с тропическим, умеренным, холодным климатом.
9. Карякина, М.И. Физико-химические основы процессов формирования и старения покрытий / М.И. Карякина. – М.: Химия, 1980. – 216 с.
10. Орендлихер, Л.П. Разработка параметров отказа защитно-декоративных покрытий наружных ограждений / Л.П. Орендлихер, В.И. Логанина // Строительные материалы. – 1986. – № 10. – С. 27.
11. ГОСТ 9.401-2018. Единая система защиты от коррозии и старения. покрытия лакокрасочные. Общие требования и методы ускоренных испытаний на стойкость к воздействию климатических факторов. – М., 2018.
12. Зубов, В.П. Лабораторный практикум по курсу «Основы физики и химии полимеров» / В.П. Зубов, Н.И. Прокопов, В.Р. Черкасов, И.В. Бакеева, Г.В. Тимофеева. – М., 2001. – С. 43.
13. Зубов, П.И. Исследование долговечности полимерных покрытий в зависимости от условий формирования и старения / П.И. Зубов, В.С. Голикова, Л.А. Сухарева // Докл. АН СССР. – 1965. – 161:4. – С. 864–866.
14. Журков, С.Н. Кинетическая концепция прочности / С.Н. Журков // Вестник АН СССР. – 1968. – № 3. – С. 46–52.
15. Журков, С.Н. Физические основы прогнозирования механического разрушения / С.Н. Журков, В.С. Куксенко, В.А. Петров // Докл. АН СССР. – 1981. – Т. 259, № 6. – С. 1350–1353.
16. Барбашев, Е.А. Влияние радиационного и теплового старения на прочность, усталость и микроструктуру стеклопластика ВПС-7 / Е.А. Барбашев [и др.] // Физико-химическая механика полимеров. – 1989. – №6. – С.68–71.
17. Сухарева, Л.А. Долговечность полимерных покрытий / Л.А. Сухарева. – М.: Химия, 1984. – 240 с.
18. Каневская, Е.А., Войнова Н.Н., Шепилов А.М., Зубов П.И. // Лакокрасочные покрытия: сб. – М.: Химия, 1972. – С. 186–212.
19. Работнов, Ю.Н. Механика деформируемого твердого тела / Ю.Н. Работнов. – М.: Наука, 1988.
20. Бертенев, Г.М. Прочность и разрушение высокоэластичных материалов / Г.М. Бертенев, Ю.С. Зуев. – М.: Химия, 1994. – 38 с.

21. Логанина, В.И. Оценка кинетики старения покрытий цементных бетонов / В.И. Логанина // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 1996. – № 1. – С. 57.
22. Оrentлихер, Л.П. О роли наследственного фактора в формировании и кинетике изменения свойств защитно-декоративных покрытий наружных стен здания / Л.П. Оrentлихер, В.И. Логанина, А.М. Данилов, Е.И. Куимова // Пластические массы. – 2002. – № 4. – С. 23.
23. Оrentлихер, Л.П. Прогнозирование эксплуатационной стойкости защитно-декоративных покрытий / Л.П. Оrentлихер, В.И. Логанина // Известия высших учебных заведений. Строительство и архитектура. – 1988. – № 8. – С. 63.
24. Демьянова, В.С. Выбор оптимальных математических моделей для прогнозирования срока службы отделочных покрытий / В.С. Демьянова, В.И. Логанина // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 1995. – № 5. – С. 6.
25. Оrentлихер, Л.П. Методика прогнозирования срока службы покрытий / Л.П. Оrentлихер, В.И. Логанина, С.И. Мишанин // Жилищное строительство. – 1994. – № 9. – С. 22.

References

1. Karpukhin O.N. The success of chemistry. 1980. Vol. 49. Issue. 8 P. 1523–1553.
2. Goikhman B.D., Smekhunova T.P. Advances in chemistry. 1980. Vol. 49. Issue 8. P. 1554–1573.
3. GOST 9.707–81. ESZKS. Polymer materials. Accelerated Climate Aging Test Methods. – M., 1981.
4. Verkholtantsev, V.V. Methods for predicting the durability of coatings / V.V. Verkholtantsev // Paintwork materials and their application. – 1985. – No. 4. – P. 49–53.
5. Loganina, V.I. Improving the quality of coatings of building products and structures / V.I. Loganina, L.P. Orentlikher. – M.: DIA, 2007. – 143 p.
6. GOST 9.045–75. ESZKS. Varnish-and-paint coatings. Accelerated methods for determining light fastness. – M., 1975.
7. GOST 9.083–78. ESZKS. Varnish-and-paint coatings. The method of accelerated tests for durability in liquid aggressive environments. – M., 1978.
8. GOST 9.401-89, GOST 9.074-77, GOST 9.404- 81. ESZKS. Coatings for paints and varnishes intended for use in areas with a tropical, temperate, cold climate.
9. Karyakina, M.I. Physicochemical fundamentals of the processes of formation and aging of coatings / M.I. Karyakina. – M.: Chemistry, 1980. – 216 p.
10. Orentlicher, L.P. Development of failure parameters of protective and decorative coatings of external fences / L.P. Orentlicher, V.I. Loganina // Building materials. – 1986. – No. 10. – P. 27.
11. GOST 9.401-2018. Unified system of protection against corrosion and aging. Varnish-and-paint coatings. general requirements and methods of accelerated tests for resistance to climatic factors. – M., 2018.
12. Zubov, V.P. Laboratory workshop on the course «Fundamentals of Physics and Chemistry of Polymers» / V.P. Zubov, N.I. Prokopov, V.R. Cherkasov, I.V. Bakeeva, G.V. Timofeeva. – M., 2001. – P. 43.
13. Zubov, P.I. Investigation of the durability of polymer coatings depending on the conditions of formation and aging / P.I. Zubov, V.S. Golikova, L.A. Sukhareva // Dokl. USSR Academy of Sciences. – 1965. – 161: 4. – P. 864–866.
14. Zhurkov, S.N. Kinetic concept of strength / S.N. Zhurkov // Bulletin of the Academy of Sciences of the USSR. – 1968. – No. 3. – P. 46–52.
15. Zhurkov, S.N. Physical foundations for predicting mechanical failure / S.N. Zhurkov, V.S. Kuksenko, V.A. Petrov // Dokl. USSR Academy of Sciences. – 1981. – V. 259, No. 6. – P. 1350–1353.

-
16. Barbashev, E.A. The effect of radiation and heat aging on the strength, fatigue and microstructure of VPS-7 fiberglass / E.A. Barbashev [et al.] // Physical and chemical mechanics of polymers. – 1989. – No. 6. – P.68–71.
 17. Sukhareva, L.A. Durability of polymer coatings / L.A. Sukhareva. – M.: Chemistry, 1984. – 240 p.
 18. Kanevskaya, E.A., Voinova N.N., Shepilov A.M., Zubov P.I. // On Sat Paintwork. – M.: Chemistry, 1972. – P. 186–212.
 19. Rabotnov, Yu.N. Mechanics of a deformable solid / Yu.N. Rabotnov. – M.: Science, 1988.
 20. Bertenev, G.M. Strength and fracture of highly elastic materials / G.M. Bertenev, Yu.S. Zuev. – M.: Chemistry, 1994. – 38 p.
 21. Loganina, V.I. Assessment of the kinetics of aging of coatings of cement concrete / V.I. Loganina // Bulletin of higher educational institutions. Building. –1996. – No. 1. – P. 57.
 22. Orentlicher, L.P. On the role of the hereditary factor in the formation and kinetics of changes in the properties of protective and decorative coatings of the exterior walls of buildings / L.P. Orentlicher, V.I. Loganina, A.M. Danilov, E.I. Kuimova // Plastics. – 2002. – No. 4. – P. 23.
 23. Orentlicher, L.P. Prediction of operational durability of protective and decorative coatings / L.P. Orentlicher, V.I. Loganina // News of higher educational institutions. Construction and architecture. – 1988. – No. 8. – P. 63.
 24. Demyanova, V.S. The selection of optimal mathematical models for predicting the service life of finishing coatings / V.S. Demyanova, V.I. Loganina // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii. Building. – 1995. – No. 5. – P. 6.
 25. Orentlicher, L.P. Methodology for predicting the life of coatings / L.P. Orentlicher, V.I. Loganina, S.I. Mishanin // Housing construction. – 1994. – No. 9. – P. 22.

Национальный исследовательский
Мордовский государственный университет
им. Н. П. Огарёва

Россия, 430005, г. Саранск,
ул. Большевистская, д. 68,
тел.: (8342) 47-71-56

Родин Александр Иванович,
кандидат технических наук, доцент кафедры
«Строительные материалы и технологии»
E-mail: AL_Rodin@mail.ru

Ермаков Анатолий Анатольевич,
магистрант кафедры «Строительные
материалы и технологии»
E-mail: anatoly.ermakov97@mail.ru

Mordovia National Research State University

Russia, 430005, Saransk, 68, Bol'shevistskaya St.,
tel.: (8342) 47-71-56

Rodin Aleksandr Ivanovich,
Candidate of Sciences, Associate Professor of the
department «Building Materials and Technologies»
E-mail: AL_Rodin@mail.ru

Ermakov Anatolij Anatol'evich,
Undergraduate student of the department
«Building Materials and Technologies»
E-mail: anatoly.ermakov97@mail.ru

ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПЕНОСТЕКЛОКЕРАМИКИ НА ОСНОВЕ КРЕМНИСТЫХ ПОРОД¹

А.И. Родин, А.А. Ермаков

Приведены результаты исследования теплофизических свойств образцов пористых стеклокерамических материалов на основе кремнистых пород. Установлено, что минимальное значение показателя теплопроводности разработанных материалов ($0,065 \text{ Вт/м}\cdot\text{°C}$) у образцов плотностью 235 кг/м^3 . Термическая стойкость образцов составляет $167\text{-}177\text{°C}$. Максимальная температура эксплуатации материала достигает 850°C . По отдельным показателям разработанные материалы превосходят пеностекло и могут быть использованы в качестве теплоизоляции промышленного оборудования: плавильных печей, котельного оборудования и т.п.

Ключевые слова: кремнистая порода, пористая стеклокерамика, теплопроводность, термическая стойкость, максимальная температура эксплуатации

THERMOPHYSICAL PROPERTIES OF SILICA-BASED FOAM GLASS CERAMIC

A.I. Rodin, A.A. Ermakov

The results of studying of the thermophysical properties of samples of porous glass-ceramic materials based on siliceous rocks are presented. The minimum value of the thermal conductivity index of the developed materials ($0.065 \text{ W/m}\cdot\text{°C}$) for samples with a density of 235 kg/m^3 was established. The thermal resistance of the samples is $167\text{-}177 \text{ °C}$. The maximum operating temperature of the material reaches 850 °C . In some indicators, the developed materials are superior to foam glass and can be used as thermal insulation of industrial equipment: smelters, boiler equipment, etc.

Keywords: siliceous rock, porous glass ceramics, thermal conductivity, thermal stability, maximum operating temperature

Введение

В наши дни проблема энергосбережения, повышения ресурсо- и энергоэффективности производственных технологий особенно актуальна. Одним из видов энергоэффективных строительных материалов, широко применяемых в промышленном и гражданском строительстве, является пеностеклокерамика. Пористые стеклокерамические материалы обладают высокой прочностью, хорошей тепло- и шумозащитой, не горят [1, 2]. Комплекс благоприятных свойств обосновывает эффективность применения таких материалов с экономической точки зрения.

¹ Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 18-73-00213)

В мировой научной литературе имеется большое количество работ, посвященных разработке составов и исследованию свойств пеностеклокерамики. Последние получают из отходов промышленного производства, горных пород различного химического и минералогического состава и другого сырья [2–4]. Детально изучено влияние химического состава сырья на физико-механические, теплофизические и иные свойства материалов [5–7]. Однако практически все результаты получены при исследовании образцов стеклокерамических материалов на основе искусственно созданных стекол или отходов производства. В литературе очень мало работ, в которых описано влияние химического и минералогического состава кремнистых пород на свойства пористых стеклокерамических материалов.

Цель исследования заключалась в установлении влияния химического и минералогического состава кремнистых пород на теплофизические свойства образцов пористых стеклокерамических материалов, полученных в результате обжига механически активированной шихты.

Материалы и методы исследования

Для получения образцов пористых стеклокерамических материалов использовались следующие кремнистые породы:

– трепел следующего химического состава: SiO_2 – 69,6 %, CaO – 6,9 %, Al_2O_3 – 7,1 %, Fe_2O_3 – 2,0 %, K_2O – 1,5 %, MgO – 1,0 %, TiO_2 – 0,3 %, P_2O_5 – 0,2 %, SO_3 – 0,1 %, ППП – 11,3 %. Минералогический состав породы следующий: кристобалит (SiO_2) – 24,7 %, гейландит ($(\text{Ca}, \text{Sr}, \text{K}_2, \text{Na}_2)[\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{16}] \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) – 16,8 %, мусковит ($\text{KAl}_2[\text{AlSi}_3\text{O}_{10}](\text{OH})_2$) – 12,6 %, кальцит (CaCO_3) – 12,3 %, кварц (SiO_2) – 11,6 %, тридимит (SiO_2) – 2,0 %, аморфная фаза – 20,0 %;

– диатомит следующего химического состава: SiO_2 – 81,5 %, CaO – 1,5 %, Al_2O_3 – 5,3 %, Fe_2O_3 – 2,1 %, K_2O – 1,0 %, MgO – 0,9 %, TiO_2 – 0,2 %, Na_2O – 0,2 %, SO_3 – 1,8 %, ППП – 5,5 %. Минералогический состав породы следующий: мусковит ($\text{KAl}_2[\text{AlSi}_3\text{O}_{10}](\text{OH})_2$) – 10,7 %, кварц (SiO_2) – 14,3 %, аморфная фаза – 75,0 %;

В качестве плавня использовался термонатрит (химическая формула – $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) с массовой долей основного вещества не менее 99 %.

Образцы пористых стеклокерамических материалов получали следующим образом. Кремнистые породы (трепел и диатомит) сушили до остаточной влажности не более 1 %, размалывали в течение 90 мин совместно с термонатритом в планетарной шаровой мельнице Retsch PM 400 при частоте вращения размольных стаканов, равной 250 об/мин. Измельченной шихтой заполняли металлическую форму размером 100×100×100 мм и помещали в муфельную печь. Шихту обжигали с подъемом температуры до 850 °С со скоростью 4,5 °С/мин с выдержкой при температуре 600 °С в течение 60 мин и при максимальной температуре в течение 30 мин. После обжига материал с формой остывал вместе с печью до комнатной температуры. Образец полученного строительного материала извлекали из формы для проведения дальнейших испытаний.

Составы шихты, а также физико-механические свойства образцов пеностеклокерамических материалов представлены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

Составы шихты и физико-механические свойства образцов пеностеклокерамических материалов

| № состава | Состав шихты, % | | | Физико-механические свойства образцов пеностеклокерамических материалов | |
|-----------|-----------------|----------|-------------|---|---------------------------|
| | Трепел | Диатомит | Термонатрит | Средняя плотность, кг/м ³ | Прочность при сжатии, МПа |
| С1 | 79,0 | 0,0 | 21,0 | 234,0 | 3,3 |
| С2 | 75,0 | 4,0 | | 242,6 | 3,7 |
| С3 | 71,1 | 7,9 | | 270,5 | 5,2 |
| С4 | 67,1 | 11,9 | | 290,3 | 5,9 |

Экспериментальные исследования были направлены на изучение теплопроводности, термической стойкости, а также максимальной рабочей температуры образцов пористых стеклокерамических материалов.

Теплопроводность образцов определялась зондовым методом с помощью прибора МИТ-1 (диаметр зонда 6 мм).

Максимальную температуру эксплуатации пеностеклокерамических материалов определяли в соответствии с ГОСТ 5402.2-2000 по остаточному изменению размеров образцов (90×40×40 мм) после выдерживания при заданной температуре. Сухие образцы помещали в муфельную печь в один ряд по высоте. Температуру в печи повышали со скоростью 10 °С/мин до температуры на 50 °С меньше максимальной и 2 °С/мин для последних 50 °С перед началом выдержки. Образцы выдерживали при температуре испытания в течение 2 часов. Остывали образцы вместе с печью до комнатной температуры. Линейную усадку ($-\Delta l$) или рост ($+\Delta l$) при нагреве образца в процентах вычисляли по формуле

$$\Delta l = \frac{l - l_1}{l} \cdot 100,$$

где l – высота образца до нагрева, см; l_1 – высота образца после нагрева, см.

Термическую стойкость образцов определяли в соответствии с ГОСТ 32091-2013 по разности температур попеременно нагретого и охлажденного образца, при которой возникли трещины. Сухие образцы кубической формы (длина грани 50 ± 5 мм) выдерживали в течение 30 минут в термостате при температуре 110 °С. Затем образцы в течение не более 10 секунд извлекали из термостата и погружали в резервуар с водой (температура воды равна 20 ± 2 °С). Время нахождения образцов в воде равно 65 ± 5 секунд. Эксперимент повторяли с повышением температуры термостата на 10 °С до момента появления на всех образцах трещин. Термическую стойкость каждого образца рассчитывали по следующей формуле:

$$\Delta T = T_T - T_w - \Delta T,$$

где T_T – температура термостата, при которой появилась трещина на образце, °С; T_w – температура охлаждающей жидкости в резервуаре, °С; ΔT – разность температур термостата между последующим и предыдущим испытаниями, °С.

При определении теплофизических свойств за окончательный результат принималось среднearифметическое значение результатов испытания трех образцов каждого состава.

Результаты и их обсуждение

Результаты испытания теплопроводности образцов пористых стеклокерамических материалов на основе кремнистых пород различной средней плотности представлены на рис. 1. В ходе эксперимента было испытано 4 состава по три образца в каждом.

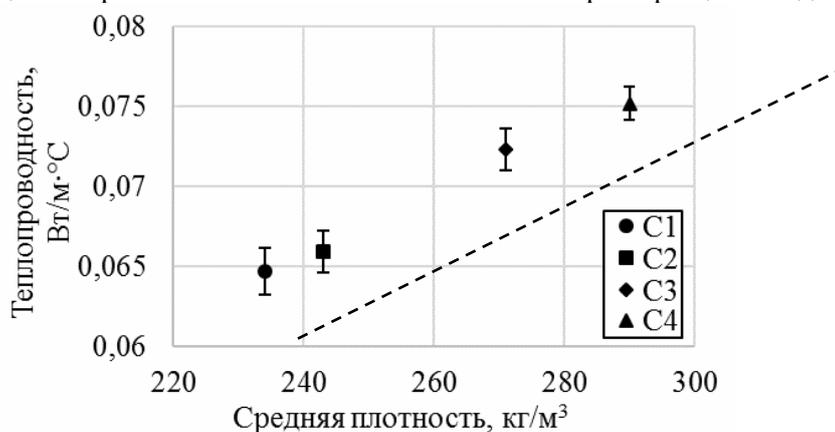


Рис. 1. Теплопроводность образцов: C1-C4 – составы (см. табл. 1)

Согласно приведенным на рис. 1 данным, теплопроводность сухих образцов пено-стеклокерамических материалов из кремнистых пород повышается по линейной зависимости с интервалом изменения показателя от 0,065 до 0,075 Вт/(м·°С) при увеличении плотности материала с 235 до 290 кг/м³. Зависимость теплопроводности от плотности исследуемых материалов выражается формулой

$$\lambda = \frac{0,0125\rho + 0,9}{60},$$

где λ – теплопроводность, Вт/(м·°С); ρ – средняя плотность материала в сухом состоянии (от 220 до 300 кг/м³), кг/м³.

В результате проведенных исследований установлено, что плотность сухих пористых стеклокерамических материалов из кремнистых пород теплопроводностью не выше 0,070 Вт/(м·°С) должна быть менее 260 кг/м³, а теплопроводностью не более 0,075 Вт/(м·°С) – менее 290 кг/м³. Полученные результаты коррелируются с данными многих исследователей [1, 2, 8].

Известно [1, 5, 8], что строительные материалы, применяемые при теплоизоляции промышленного оборудования, должны обладать высокой термической стойкостью (способность не разрушаться при резких изменениях температуры). На рис. 2 приведены результаты испытания термической стойкости образцов пористых стекло-керамических материалов из кремнистых пород.

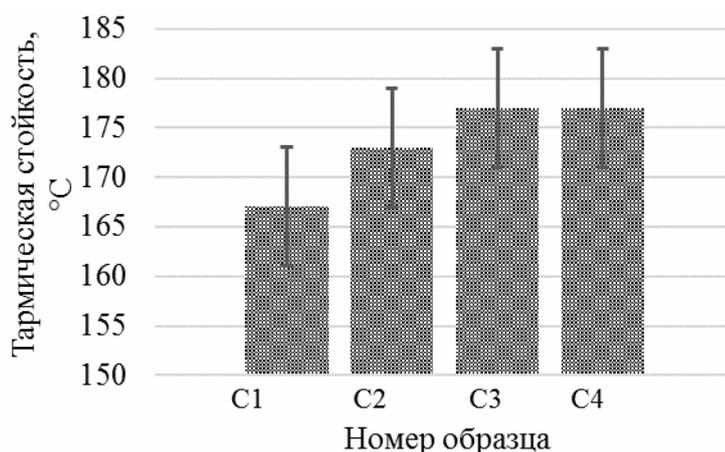


Рис. 2. Термическая стойкость образцов

Из анализа представленных на рис. 2 данных следует, что термическая стойкость образцов пористых стеклокерамических материалов на основе кремнистых пород в основном колеблется в пределах 167-177°С. Недостаточно высокие значения показателя, видимо, связаны с присутствием в материале одновременно аморфной фазы и минералов кристаллической структуры, которые имеют разные коэффициенты теплового расширения. В результате этого при резком перепаде температур более определенных интервалов (167-177°С) материал разрушается от внутренних напряжений. Как установлено нами ранее [9], в пеностеклокерамических материалах на основе кремнистых пород соотношение кристаллической фазы к аморфной колеблется в пределах 40:60.

Заметим, что термическая стойкость образцов пеностеклокерамических материалов повышается с увеличением в составе шихты диатомита. Наибольшая термическая стойкость (177°С) у составов с содержанием диатомита в шихте 7,9 % и более (С3 и С4). Наименьшее значение показателя у образцов (состав С1), где количество диатомита в шихте равно 0.

По показателю термической стойкости пористые стеклокерамические материалы из кремнистых пород сравнимы с пеностеклокерамикой из отходов промышленного производства, но уступают пеностеклу [5, 8].

Результаты исследований по определению максимальной допустимой эксплуатационной температуры разработанных материалов (остаточные изменения размеров образцов после выдерживания в течение 2 часов при заданной температуре) приведены в табл. 2.

Т а б л и ц а 2

Остаточные изменения размеров образцов после выдерживания в течение 2 часов при заданной температуре

| Номер состава | Остаточные изменения размеров образцов после выдерживания в течение 2 часов при заданной температуре, %* | | |
|---------------|--|-------|-------|
| | 750°C | 800°C | 850°C |
| C1 | 0,00 | -0,10 | -0,21 |
| C2 | 0,00 | -0,10 | -0,29 |
| C3 | 0,00 | -0,12 | -0,49 |
| C4 | -0,12 | -0,43 | -1,17 |

* – Среднее квадратическое отклонение результатов не превышает 0,02 %.

Анализ данных табл. 2 показывает, что отдельные составы разработанных материалов (C1–C3) могут эксплуатироваться при температуре $\leq 850^\circ\text{C}$. После выдерживания в течение 2 часов при температуре 870°C размеры образцов всех составов уменьшились более чем на 1%. С увеличением в составе шихты диатомита в количестве более чем 11,85% максимальная температура эксплуатации образцов снижается до 800°C . Заметим, что после выдерживания образцов в течение 2 часов при температуре 850°C их размеры для состава C1 уменьшились всего на 0,21%, а для состава C4 – на 1,17%. Исходя из данных химического состава пород, а также данных табл. 1, образец состава C1 получен из кремнистой породы с содержанием $\text{Al}_2\text{O}_3 \approx 7,06\%$ (количество диатомита равно 0). Суммарное количество оксида алюминия в шихте состава C4 не превышает 6,8%. Известно [5, 7, 8], что стойкость керамических материалов к длительному воздействию высоких температур повышается с увеличением в их составе количества Al_2O_3 .

По показателю максимальной допустимой эксплуатационной температуры разработанные материалы сравнимы с пеностеклокерамикой из отходов промышленного производства и значительно превосходят пеностекло [8]. Максимальная рабочая температура последних редко превышает 600°C [1].

Заключение

Изучено влияние химического и минералогического состава кремнистых пород на теплофизические свойства образцов пористых стеклокерамических материалов. Основные выводы по результатам исследования следующие:

1. Теплопроводность сухих образцов пеностеклокерамических материалов из кремнистых пород увеличивается практически линейно с 0,065 до 0,075 Вт/(м·°C) при увеличении плотности материала с 235 до 290 кг/м³. Существенного влияния химического и минералогического состава кремнистых пород на теплопроводность образцов не выявлено.

2. Термическая стойкость образцов пеностеклокерамических материалов увеличивается с 167 до 177°C при увеличении в составе шихты диатомита от 0 до 7,9%.

3. Максимальная температура эксплуатации пористых стеклокерамических материалов достигает 850°C . С увеличением в составе шихты диатомита до 11,85% данный показатель для образцов снижается до 800°C . Установлено, что максимальная температура эксплуатации уменьшается с уменьшением в составе шихты количества Al_2O_3 .

4. Пористые стеклокерамические материалы на основе кремнистых пород можно применять в качестве теплоизоляции промышленного оборудования: плавильных печей, котельного оборудования и т.п.

Список литературы

1. Минько, Н.И. Теплоизоляционные стекломатериалы. Пеностекло / Н.И. Минько, О.В. Пучка, М.Н. Степанова, С.С. Вайсера. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2016. – 263 с.
2. Никитин, А.И. Теплоизоляционные материалы и изделия на основе трепелов Потанинского месторождения / А.И. Никитин, Г.И. Стороженко, Л.К. Казанцева, В.И. Верещагин // *Строительные материалы*. – 2014. – № 8. – С. 34–37.
3. Береговой, В.А. Применение природных силицитов в технологии ячеистой керамики / В.А. Береговой, Е.В. Снадин // *Известия высших учебных заведений. Строительство*. – 2018. – № 2(710). – С. 13–20.
4. Ерофеев, В.Т. Исследование фазовых превращений в шихте (трепел : Na_2CO_3) для пеностеклокерамики / В.Т. Ерофеев, А.И. Родин, А.С. Кравчук, А.А. Ермаков // *Региональная архитектура и строительство*. – 2019. – № 3(40). – С. 16–23.
5. Keyvani, N. Effect of Al_2O_3 content on crystallization behavior, microstructure, and mechanical properties of $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-CaO-MgO}$ glass-ceramics / N. Keyvani, V.K. Marghussian, H.R. Rezaie, M. Kord // *International Journal of Applied Ceramic Technology*. – 2011. – Vol. 8(1). – P. 203–213. doi: 10.1111/j.1744-7402.2009.02428.x.
6. Zhou, M. Effect of the CaO content and decomposition of calcium-containing minerals on properties and microstructure of ceramic foams from fly ash / M. Zhou, X. Ge, H. Wang, L. Chen, X. Chen // *Ceramics International*. – 2017. – Vol. 43(12). – P. 9451–9457. – Doi: 10.1016/j.ceramint.2017.04.122.
7. Yang, Z. Effect of CaO/ SiO_2 ratio on the preparation and crystallization of glass-ceramics from copper slag / Z. Yang, Q. Lin, S. Lu, Y. He, G. Liao, Y. Ke // *Ceramics International*. – 2014. – Vol. 40(5). – P. 7297–7305. – Doi: 10.1016/j.ceramint.2013.12.071.
8. Kim, E.S. Thermal properties of $\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$ glass-ceramics with Al_2O_3 / E.S. Kim, W.J. Yeo // *Ceramics International*. – 2012. – Vol. 38(1). – P. S547–S550. – Doi: 10.1016/j.ceramint.2011.05.074.
9. Ерофеев, В.Т. Биостойкие пеноситаллы на основе кремнеземсодержащих пород / В.Т. Ерофеев, А.И. Родин, А.С. Кравчук, С.В. Казначеев, Е.А. Захарова // *Инженерно-строительный журнал*. – 2018. – № 8(84). – С. 48–56. – Doi: 10.18720/MCE.84.5.

References

1. Minko, N.I. Heat-insulating glass materials. Penosteklo / N.I. Minko, O.V. Puchka, M.N. Stepanov, S.S. Weisser. – Belgorod: BSTU publishing House, 2016. – 263 p.
2. Nikitin, A.I. Thermal insulation materials and products based on trepelov of Potaninskoe deposits / A.I. Nikitin, G.I. Storozhenko, L.K. Kazantseva, V.I. Vereshchagin // *Building material*. – 2014. – No. 8. – P. 34–37.
3. Beregovoy, V.A. Application of natural silicites in cellular ceramics technology / V.A. Beregovoy, E.V. Snadin // *News of higher educational institutions. Construction*. – 2018. – № 2(710). – P. 13–20.
4. Erofeev, V.T. Investigation of phase transformations in the charge (trepel: Na_2CO_3) for foam glass ceramics / V.T. Erofeev, A.I. Rodin, A.S. Kravchuk, A.A. Ermakov // *Regional architecture and engineering*. – 2019. – № 3(40). – P. 16–23.
5. Keyvani, N. Effect of Al_2O_3 content on crystallization behavior, microstructure, and mechanical properties of $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-CaO-MgO}$ glass-ceramics / N. Keyvani, V.K. Marghussian, H.R. Rezaie, M. Kord // *International Journal of Applied Ceramic Technology*. – 2011. – Vol. 8(1). – P. 203–213. – Doi: 10.1111/j.1744-7402.2009.02428.x.
6. Zhou, M. Effect of the CaO content and decomposition of calcium-containing minerals on properties and microstructure of ceramic foams from fly ash / M. Zhou, X. Ge, H. Wang, L. Chen, X. Chen // *Ceramics International*. – 2017. – Vol. 43(12). – P. 9451–9457. – Doi: 10.1016/j.ceramint.2017.04.122.
7. Yang, Z. Effect of CaO/ SiO_2 ratio on the preparation and crystallization of glass-ceramics from copper slag / Z. Yang, Q. Lin, S. Lu, Y. He, G. Liao, Y. Ke // *Ceramics International*. – 2014. – Vol. 40(5). – P. 7297–7305. – Doi: 10.1016/j.ceramint.2013.12.071.

8. Kim, E.S. Thermal properties of $\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$ glass–ceramics with Al_2O_3 / E.S. Kim, W.J. Yeo // *Ceramics International*. – 2012. – Vol. 38(1). – P. S547-S550. – Doi: 10.1016/j.ceramint.2011.05.074.

9. Erofeyev, V.T. Waterproofing penosital on the basis of silica-containing rocks / V.T. Erofeyev, A.I. Rodin, A.S. Kravchuk, S.V. Kaznacheev, E.A. Zakharova // *Civil engineering magazine*. – 2018. – № 8(84). – P. 48–56. – Doi: 10.18720/MCE. 84. 5.

Национальный исследовательский
Мордовский государственный университет
им. Н. П. Огарёва

Россия, 430005, г. Саранск,
ул. Большевикская, д. 68,
тел.: (8342) 47-71-56

Родин Александр Иванович,
кандидат технических наук, доцент кафедры
«Строительные материалы и технологии»
E-mail: AL_Rodin@mail.ru

Кравчук Алексей Сергеевич,
аспирант кафедры «Строительные материалы
и технологии»
E-mail: a.kravchuk.s@yandex.ru

Mordovia National Research State University

Russia, 430005, Saransk, 68,
Bol'shevistskaya St.,
tel.: (8342) 47-71-56

Rodin Aleksandr Ivanovich,
Candidate of Sciences, Associate Professor of the
department «Building Materials and Technologies»
E-mail: AL_Rodin@mail.ru

Kravchuk Aleksej Sergeevich,
Postgraduate student of the department «Building
Materials and Technologies»
E-mail: a.kravchuk.s@yandex.ru

ХИМИЧЕСКАЯ СТОЙКОСТЬ ПОРИСТОЙ СТЕКЛОКЕРАМИКИ НА ОСНОВЕ КРЕМНИСТЫХ ПОРОД¹

А.И. Родин, А.С. Кравчук

Приведены результаты исследования химической стойкости образцов пористых стеклокерамических материалов, полученных на основе кремнистых пород месторождений Республики Мордовия. Образцы получены в результате обжига механически активированной шихты (кремнистые породы + термонаитрит) при температуре 850°C. Разработанные материалы показали высокую химическую стойкость после кипячения в воде, водном растворе HCl, а также щелочном растворе. По данному показателю разработанные материалы превзошли пеностекло и могут быть использованы в качестве изоляции трубопроводов, промышленных установок и т.п.

Ключевые слова: пористая стеклокерамика, химическая стойкость, трепел, диатомит, агрессивная среда

CHEMICAL RESISTANCE OF SILICEOUS POROUS GLASS CERAMICS

A.I. Rodin, A.S. Kravchuk

The results of a study of the chemical resistance of samples of porous glass-ceramic materials obtained on the basis of siliceous rocks from deposits of the Republic of Mordovia are presented. The samples were obtained by firing a mechanically activated charge (siliceous rocks + thermonatrite) at a temperature of 850 °C. The developed materials showed high chemical resistance after boiling in water, an aqueous HCl solution, as well as an alkaline solution. According to this indicator, the developed materials exceeded foam glass and can be used as insulation of pipelines, industrial plants, etc.

Keywords: porous glass ceramics, chemical resistance, tripoli, diatomite, aggressive environment

Введение

В последние годы пористые стеклокерамические материалы все в большем объеме используются в строительной отрасли. Данные материалы обладают рядом положительных качеств, таких, как высокая прочность, низкая теплопроводность, высокая стойкость к химическим агрессивным средам, широкий диапазон рабочих температур и др. Часто их используют в качестве утеплителя при строительстве атомных электростанций, пред-

¹ Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 18-73-00213)

приятый газовой и нефтяной промышленности, объектов промышленного и гражданского назначения [1, 2].

Большое количество исследований последних лет посвящено разработке пеностеклокерамических материалов из отходов стекла и различных зол [3]. Изучены особенности формирования структуры и исследованы механические свойства стеклокерамики из шлаков различных металлургических производств [4, 5]. Большое количество научных исследований посвящено разработке составов пеностеклокерамических материалов из кремнистых пород (диатомит, трепел, опока) [6, 7]. Технология получения таких материалов заключается в основном в смешивании кремнистых, в том числе цеолитсодержащих, пород с водными растворами NaOH с последующей грануляцией и обжигом.

В работах [8, 9] описаны технологические особенности получения блочных пористых стеклокерамических материалов посредством обжига совместно размолотых кремнистой породы (трепела) и кальцинированной соды. Полученные материалы имеют среднюю плотность от 200 до 600 кг/м³, теплопроводность от 0,053 до 0,115 Вт/(м·°С), прочность при сжатии от 1,2 до 9,8 МПа, а также обладают повышенной стойкостью к агрессивным воздействиям биологических сред. Однако химическая стойкость разработанных материалов еще не изучена.

Цель исследования заключалась в определении стойкости образцов разработанных пеностеклокерамических материалов в воде, водных растворах кислот и щелочей.

Материалы и методы

Для получения образцов пеностеклокерамических материалов были использованы кремнистые породы трех месторождений, которые находятся на территории Республики Мордовия: два вида трепела Енгальчевского месторождения и диатомит Атемарского месторождения. Перед испытанием породы высушивались до влажности не более 1%. Химический состав пород приведен в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

Химический состав пород

| Порода | Химический состав, % масс. | | | | | | | | | | |
|-----------|----------------------------|------|--------------------------------|--------------------------------|------------------|-----|------------------|-------------------|-----------------|-------------------------------|------|
| | SiO ₂ | CaO | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | K ₂ O | MgO | TiO ₂ | Na ₂ O | SO ₃ | P ₂ O ₅ | ППП |
| Трепел №1 | 69,6 | 6,9 | 7,1 | 2,0 | 1,5 | 1,0 | 0,3 | 0,0 | 0,1 | 0,2 | 11,3 |
| Трепел №2 | 62,3 | 11,3 | 6,7 | 2,0 | 1,4 | 1,0 | 0,3 | 0,1 | 0,0 | 0,2 | 14,7 |
| Диатомит | 81,5 | 1,5 | 5,3 | 2,1 | 1,0 | 0,9 | 0,2 | 0,2 | 1,8 | 0,0 | 5,5 |

Образцы пористых стеклокерамических материалов были изготовлены по следующей технологии. Кремнистая порода размалывалась совместно с термонаитритом (химическая формула – Na₂CO₃·H₂O) в планетарной шаровой мельнице Retsch РМ 400 в течение 90 мин (частота вращения размольных стаканов составляла 250 об/мин). Составы шихты, испытанные в работе, представлены в табл. 2.

Т а б л и ц а 2

Составы, испытанные в работе

| № состава | Состав шихты, % | | |
|-----------|-----------------|----------|--------------|
| | Трепел | Диатомит | Термонаитрит |
| С1 | 79,00 | 0,00 | 21,00 |
| С2 | 75,05 | 3,95 | |
| С3 | 71,10 | 7,90 | |
| С4 | 67,15 | 11,85 | |
| С5 | 44,50 | 34,50 | |
| С6 | 42,00 | 37,00 | |
| С7 | 39,50 | 39,50 | |

Шихта обжигалась в металлических формах, обмазанных предварительно каолиновой обмазкой, по режиму: нагрев до температуры 600 °С со скоростью 4,5 °С/мин, выдержка при температуре 600 °С в течение 1 часа, нагрев до температуры 850 °С со скоростью 4,5 °С/мин, выдержка при температуре 850 °С в течение 30 минут. После остывания вместе с печью формы с полученным материалом до 40 °С она разбиралась, а образцы измельчались до фракции 0,315–0,630 мм.

Химическую стойкость пеностеклокерамических материалов определяли по потере массы образцов (фракции 0,315–0,630 мм) после их кипячения в течение 3 ч в дистиллированной воде, водном растворе 6NHCl, смеси равных объемов 1N растворов Na₂CO₃ и NaOH. Подготовленную пробу массой (5±0,0005) г помещали в колбу и заливали 100 см³ реагента. Колбу соединяли с обратным холодильником. После кипячения содержимого колбы в течение 3 ч из нее сливали агрессивную жидкость, а пробу промывали дистиллированной водой. Промытую пробу вместе с дистиллированной водой сливали на воронку с бумажным беззольным фильтром. Воронку с фильтром и испытуемой пробой прокаливали в печи при температуре (800±25) °С, охлаждали в эксикаторе над CaCl₂ и взвешивали.

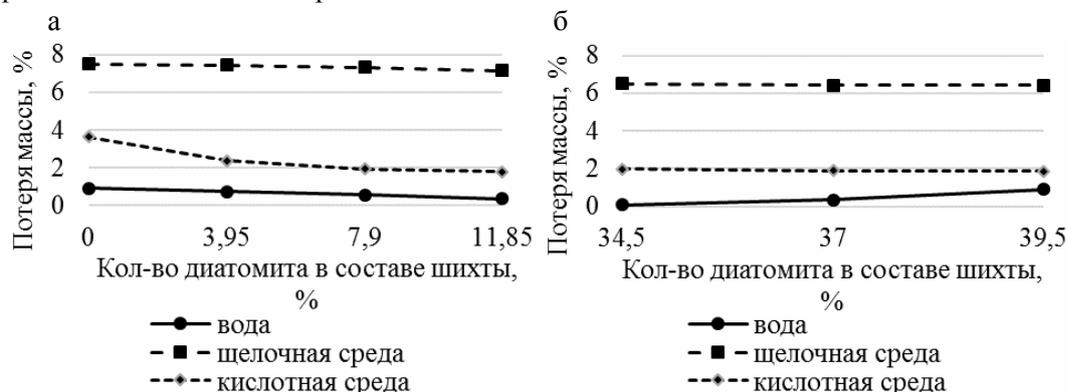
Формула для определения химической стойкости:

$$X = \frac{m - m_1}{m} \cdot 100,$$

где m – масса пробы до испытания, г; m_1 – масса пробы после испытания, г.

Результаты и их обсуждение

На рисунке представлены данные потери массы образцов пеностеклокерамических материалов (измельченных до фракции 0,315–0,630 мм) после 3 ч кипячения в различных химических средах.



Потеря массы образцов после кипячения в химических средах в течение 3 ч:
а – образцы на основе трепела №1; б – образцы на основе трепела №2

Из экспериментальных данных (см. рисунок) следует, что с увеличением количества диатомита в составе шихты растворение порошкообразных образцов стеклокерамических материалов при кипячении в течение 3 ч в воде, водном растворе HCl, а также щелочном растворе уменьшается практически в линейной зависимости. Закономерность характерна для образцов, полученных из шихты на основе трепела №1 (составы С1–С4). Так, масса образцов разработанных материалов на основе трепела (образец С1) после 3 ч кипячения в воде уменьшилась в среднем на 0,90%, в щелочном растворе на 7,51%, а в растворе кислоты на 3,62%. При замене 15% трепела на диатомит потеря массы образцов (С4) после 3 ч кипячения в воде составляет в среднем 0,36%, в щелочном растворе – 7,16%, а в растворе кислоты – 1,78%.

Немного иной характер растворения при кипячении в химических средах для образцов из шихты на основе трепела №2 (составы С5–С7). Потеря массы образцов после 3 ч кипячения в воде увеличивается. Образцы состава С5 потеряли после 3 ч кипячения в воде всего 0,08% по массе, а образцы состава С7 – 0,89%. Оба образца

получены на основе трепела №2 и отличаются количественным содержанием в составе шихты диатомита (в составе С7 на 4,9% больше, чем в С5). Химическая стойкость таких образцов в растворе HCl и щелочном растворе изменяется незначительно. Образцы потеряли после 3 ч кипячения в растворе HCl в среднем 1,91% и 6,46% после кипячения в щелочном растворе.

Известно [4, 5, 10], что химическая стойкость стеклокерамических материалов зависит от многих факторов. Безусловно, основное влияние оказывает их химический и минералогический состав. В работе [5] показано, что химическая стойкость стеклокерамики в первую очередь зависит от сформированности структуры материала. Известно, что при введении диатомита в составе шихты увеличивается количество расплава при меньшей температуре [7]. Возможно, это способствует формированию структуры материала, отличающейся большей химической стойкостью. В [10] показано, что с уменьшением CaO в составе стеклокерамических материалов до определенных пределов их химическая стойкость увеличивается. Согласно данным табл. 1, содержание CaO в используемом диатомите в несколько раз меньше по сравнению с трепелами № 1 и 2. При замене части трепела в шихте на диатомит уменьшается количество оксида кальция в обожженном материале, что, видимо, также способствует увеличению его химической стойкости.

Заключение

Проведенные экспериментальные испытания пеностеклокерамических материалов показали их высокую химическую стойкость в воде, водном растворе HCl, а также щелочном растворе. По данному показателю разработанные материалы превзошли пеностекло. Сказанное выше позволяет рекомендовать пористые стеклокерамические материалы к использованию в качестве изоляции трубопроводов, промышленных установок и т.п.

Список литературы

1. Береговой, А.М. Выбор конструкций наружных ограждений с учетом энерго-сбережения в условиях неблагоприятных воздействий окружающей среды / А.М. Береговой, В.А. Береговой // Региональная архитектура и строительство. – 2019. – № 1(38). – С. 86–90.
2. Fernandes, H.R. Preparation and characterization of foams from sheet glass and fly ash using carbonates as foaming agents / H.R. Fernandes, D.U. Tulyaganov, J.M.F. Ferreira // *Ceramics International*. – 2009. – Vol. 35(1). – P. 229–235. – Doi: 10.1016/j.ceramint.2007.10.019.
3. Zhu, M. Preparation of glass ceramic foams for thermal insulation applications from coal fly ash and waste glass / M. Zhu, R. Ji, Z. Li, H. Wang, L. Liu, Z. Zhang // *Construction and Building Materials*. – 2016. – Vol.112. – P. 398–405. – Doi: 10.1016/j.conbuildmat.2016.02.183.
4. Liu, T. Low-cost and environment-friendly ceramic foams made from lead-zinc mine tailings and red mud: Foaming mechanism, physical, mechanical and chemical properties / T.Liu, X.Li, L.Guan, P.Liu, T. Wu, Z. Li, A. Lu // *Ceramics International*. – 2016. – Vol. 42(1). – P. 1733–1739. – Doi: 10.1016/j.ceramint.2015.09.131.
5. Pisciella, P. Chemical durability of glasses obtained by vitrification of industrial wastes / P.Pisciella, S.Crisucci, A.Karamanov, M. Pelino // *Waste Management*. – 2001. – Vol. 21(1). – P. 1–9. – Doi: 10.1016/S0956-053X(00)00077-5.
6. Никитин, А.И. Теплоизоляционные материалы и изделия на основе трепелов Потанинского месторождения / А.И. Никитин, Г.И. Стороженко, Л.К. Казанцева, В.И. Верещагин // *Строительные материалы*. – 2014. – № 8. – С. 34–37.
7. Орлов, А.Д. Оптимизированная одностадийная технология гранулированного пеностекла на основе низкотемпературного синтеза стеклофазы // *Строительные материалы*. – 2015. – № 1. – С. 24–26.
8. Ерофеев, В.Т. Биостойкие пеноситаллы на основе кремнеземсодержащих пород / В.Т. Ерофеев, А.И. Родин, А.С. Кравчук, С.В. Казначеев, Е.А. Захарова // *Инженерно-строительный журнал*. – 2018. – № 8(84). – С. 48–56. – Doi: 10.18720/MCE.84.5.

9. Ерофеев, В.Т. Исследование фазовых превращений в шихте (трепел :Na₂CO₃) для пеностеклокерамики / В.Т. Ерофеев, А.И. Родин, А.С. Кравчук, А.А. Ермаков // Региональная архитектура и строительство. – 2019. – № 3(40). – С. 16–23.

10. Abdel-Hameed, S.A.M. Thermal and chemical properties of diopside-wollastonite glass-ceramics in the SiO₂–CaO–MgO system from raw materials / S.A.M. Abdel-Hameed, A.A. El-kheshen// *Ceramics International*. – 2013. – Vol. 29(3). – P. 265–269. – Doi: 10.1016/S0272-8842(02)00114-1.

References

1. Beregovoy, A.M. Selection of outdoor fencing structures with consideration for energy saving under adverse environmental conditions / A.M. Beregovoy, V.A. Beregovoy, V.A. Coastal // *Regional architecture and engineering*. – 2019. – No. 1 (38). – P. 86–90.

2. Fernandes, H.R. Preparation and characterization of foams from sheet glass and fly ash using carbonates as foaming agents / H.R. Fernandes, D.U. Tulyaganov, J.M.F. Ferreira// *Ceramics International*. – 2009. – Vol. 35(1). – P. 229–235. – Doi: 10.1016/j.ceramint.2007.10.019.

3. Zhu, M. Preparation of glass ceramic foams for thermal insulation applications from coal fly ash and waste glass / M. Zhu, R. Ji, Z. Li, H. Wang, L. Liu, Z. Zhang // *Construction and Building Materials*. – 2016. – Vol.112. – P. 398–405. – Doi: 10.1016/j.conbuildmat.2016.02.183.

4. Liu, T. Low-cost and environment-friendly ceramic foams made from lead-zinc mine tailings and red mud: Foaming mechanism, physical, mechanical and chemical properties / T.Liu, X.Li, L.Guan, P.Liu, T. Wu, Z. Li, A. Lu // *Ceramics International*. – 2016. – Vol. 42(1). – P. 1733–1739. – Doi: 10.1016/j.ceramint.2015.09.131.

5. Pisciella, P. Chemical durability of glasses obtained by vitrification of industrial wastes / P.Pisciella, S.Crisucci, A.Karamanov, M. Pelino // *Waste Management*. – 2001. – Vol. 21(1). – P. 1–9. – Doi: 10.1016/S0956-053X(00)00077-5.

6. Nikitin, A.I. Thermal insulation materials and products based on trepels of the Potaninskoye deposit / A.I. Nikitin, G.I. Storozhenko, L.K. Kazantseva, V.I. Vereshchagin // *Building materials*. – 2014. – No. 8. – P. 34–37.

7. Orlov, A.D. Optimized one-stage technology of granular foam glass based on low-temperature synthesis of glass phase // *Building material*. – 2015. – No. 1. – P. 24-26.

8. Erofeev, V.T. Biostable penositalls based on silica-containing rocks / V.T. Erofeev, A.I. Rodin, A.S. Kravchuk, S.V. Kaznacheyev, E.A. Zakharova // *Engineering magazine*. – 2018. – No. 8 (84). – P. 48–56. – Doi: 10.18720 / MCE.84.5.

9. Erofeev, V.T. Investigation of phase transformations in a charge (tripoli: Na₂CO₃) for glass-ceramic foam / V.T. Erofeev, A.I. Rodin, A.S. Kravchuk, A.A. Ermakov // *Regional architecture and engineering*. – 2019. – No. 3 (40). – P. 16–23.

10. Abdel-Hameed, S.A.M. Thermal and chemical properties of diopside-wollastonite glass-ceramics in the SiO₂–CaO–MgO system from raw materials / S.A.M. Abdel-Hameed, A.A. El-kheshen // *Ceramics International*. – 2013. – Vol. 29(3). – P. 265–269. – Doi: 10.1016/S0272-8842(02)00114-1.

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

Снадин Евгений Валерьевич,
ассистент кафедры «Городское
строительство и архитектура»

Фролов Михаил Владимирович,
кандидат технических наук, доцент кафедры
«Теплогазоснабжение и вентиляция»
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

Snadin Evgeny Valerevich,
Assistant of the department «Urban development
and architecture»

Frolov Mikhail Vladimirovich,
Candidate of Sciences, Associate Professor of the
department «Heat, gas supply and ventilation»
E-mail: techbeton@pguas.ru

ПРИМЕНЕНИЕ СИЛИЦИТОВОЙ ГАЗОКЕРАМИКИ В ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЯХ ЖИЛОГО ЗДАНИЯ

Е.В. Снадин, М.В. Фролов

Приведены теплофизические показатели газокерамики плотностью 500, 600 и 700 кг/м³. Выполнен расчет влажностного режима для различных конструкций наружных стен жилого здания из газокерамики.

Ключевые слова: газокерамика, природные силициты, влажностный режим, конденсация влаги, теплопроводность, паропроницаемость

APPLICATION OF SILICITE GAS CERAMICS IN THE ENCLOSING STRUCTURES OF A RESIDENTIAL BUILDING

E.V. Snadin, M.V. Frolov

The thermophysical parameters of gas ceramics with densities of 500, 600 and 700 kg/m³ are given. The calculation of the humidity regime of the construction of the external enclosing walls of a residential building made of gas-ceramic is performed.

Keywords: gas ceramics, natural silicites, humidity conditions, moisture condensation, thermal conductivity, vapor permeability

Выбор рациональной области применения нового строительного материала является ключевой составляющей для его успешного выхода на рынок. Разработанный нами материал [1–3] на основе малопластичного керамического сырья (опок) по своим функциональным признакам относится к рядовым стеновым материалам, таким, как керамический или силикатный кирпич, газосиликатные блоки и др. Характеристика разработанного материала представлена в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

Характеристика разработанной газокерамики

| Средняя плотность, кг/м ³ | Прочность на сжатие, МПа | Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°C) | Морозостойкость |
|--------------------------------------|--------------------------|---|-----------------|
| 500 | 2,5 | 0,10 | 25 |
| 600 | 3,5 | 0,12 | |
| 700 | 4,5 | 0,14 | |

На рис. 1 показан внешний вид газокерамики.

С учетом комплекса свойств в области жилищного строительства силицитовая газокерамика может найти применение в наружных ограждающих конструкциях повышенной тепловой эффективности.



Рис. 1. Внешний вид разработанной газокерамики

Конструкции стен жилых зданий должны отвечать требованиям прочности, теплоустойчивости, звукоизолирующей способности, огнестойкости и долговечности. Кроме того, для поддержания необходимого микроклимата помещений материалы стен должны быть воздухо- и паропроницаемы. Также в процессе эксплуатации ограждающих конструкций материалы стены могут в разной степени увлажняться из-за диффузии водяного пара и влаги через поверхность ограждения, что существенно влияет на его теплопроводящие свойства. Степень увлажнения материалов зависит от климатической зоны, в которой расположено здание, от влажностного режима помещения, а также от конструктивного исполнения ограждающей конструкции [4–5].

Коэффициент теплопроводности газокерамики λ определяли согласно действующим требованиям – в сухом состоянии и для условий эксплуатации А и Б при относительной влажности окружающего воздуха соответственно 80 и 97 % – по [6] «Определение расчетных значений теплофизических характеристик».

Коэффициент теплопроводности определяли на образцах размером $100 \times 100 \times 25$ мм с использованием прибора ИТП-МГ4. Результаты исследований приведены в табл. 2.

Т а б л и ц а 2

Коэффициент теплопроводности разработанной газокерамики

| Средняя плотность, кг/м ³ | Условия испытания образцов | Эксплуатационная влажность материала ϕ , % | Коэффициент теплопроводности λ , Вт/(м·°С) |
|--------------------------------------|----------------------------|---|--|
| 500 | в сухом состоянии | 0 | 0,10 |
| | А | 7,0 | 0,14 |
| | Б | 13,0 | 0,15 |
| 600 | в сухом состоянии | 0 | 0,12 |
| | А | 10,0 | 0,18 |
| | Б | 15,5 | 0,21 |
| 700 | в сухом состоянии | 0 | 0,14 |
| | А | 12,0 | 0,22 |
| | Б | 17,2 | 0,27 |

Данные, приведенные в табл. 2, свидетельствуют о значительном изменении коэффициента теплопроводности в зависимости от эксплуатационной влажности материала.

Для нахождения коэффициента паропроницаемости (табл. 3) определяли количество водяных паров, прошедших через образец толщиной δ за время t при температуре 18–20 °С через 1 см² поверхности покрытия, в соответствии с ГОСТ 25898-2012.

Образцы для испытаний имели размеры 100×100×25 мм. Подготовленные образцы устанавливались в верхней части емкости с дистиллированной водой и герметизировались. Контейнер взвешивали на весах и помещали в эксикатор с относительной влажностью воздуха 60 %. Периодические взвешивания продолжали до момента, когда устанавливался стационарный поток пара.

Т а б л и ц а 3

Коэффициент паропроницаемости газокерамики

| Средняя плотность, кг/м ³ | Коэффициент паропроницаемости, мг/(м·ч·Па) |
|--------------------------------------|--|
| 500 | 0,24 |
| 600 | 0,20 |
| 700 | 0,17 |

Опишем конструкцию наружной стены жилого дома из газокерамики. Материал является конструкционно-теплоизоляционным, что предполагает конструкцию стены без утеплителя, с устройством наружной защитной конструкции (вентилируемого фасада) [7, 8]. Принципиальная конструкция наружной стены из газокерамических блоков приведена на рис. 2.

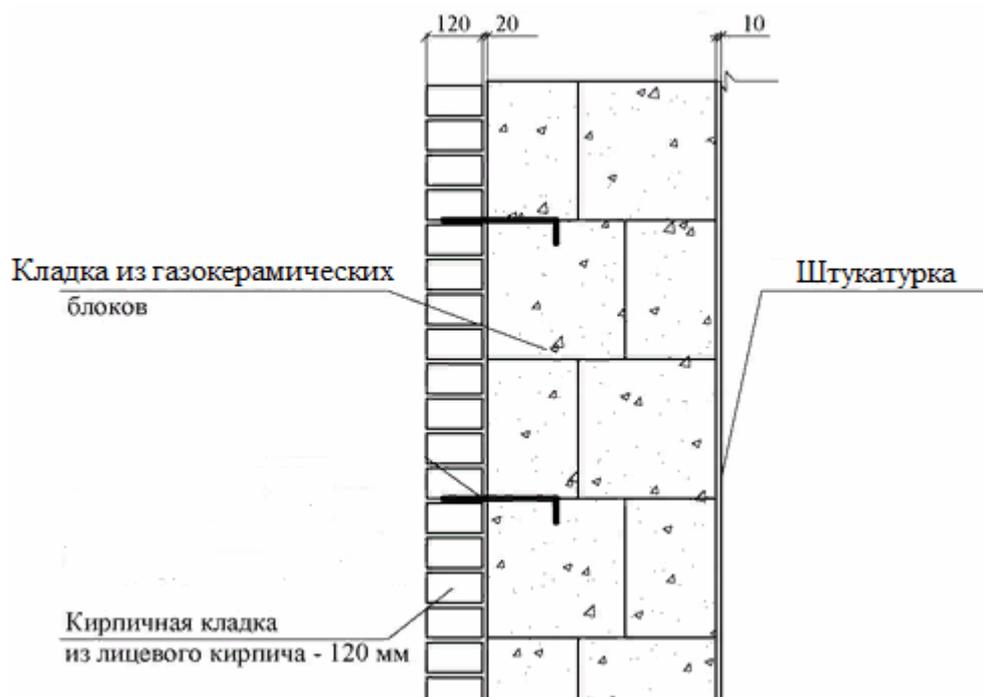


Рис. 2. Схема конструкции наружной ограждающей стены из газокерамики

Произведем теплотехнический расчет ограждающей конструкции на примере климатических условий г. Пензы. Наружные климатические параметры были приняты по [9]: средняя температура отопительного периода $t_{оп} = -4,1^{\circ}\text{C}$; продолжительность отопительного периода $z_{от} = 200$ сут; средняя температура наиболее холодного месяца $t_{х.м.} = -9,8^{\circ}\text{C}$; средняя влажность наиболее холодного месяца $\varphi_{х.м.} = 83\%$. Параметры внутреннего воздуха приняты в соответствии с требованиями [10] для жилых зданий: расчетная температура внутреннего воздуха $t_{в} = 20,0^{\circ}\text{C}$; относительная влажность внутреннего воздуха $\varphi_{в} = 55\%$.

Расчет произведен для двухслойной конструкции (наружная кладка из лицевого кирпича из-за наличия вентилируемого зазора выполняет только защитно-декоративную функцию и не влияет на результаты расчета): слой 1 – цементно-шлаковая штукатурка; слой 2 – газокерамика разной плотности. Конструктивное исполнение ограждающей конструкции представлено в табл. 4.

Конструктивное исполнение ограждающей конструкции

| Номер слоя | Материал | Средняя плотность, кг/м ³ | Толщина слоя δ , м | Коэффициент теплопроводности λ_A , Вт/(м·°С) | Коэффициент паропроницаемости μ , мг/(м·ч·Па) |
|------------|------------------------------|--------------------------------------|---------------------------|--|---|
| 1 | Цементно-шлаковая штукатурка | 1200 | 0,01 | 0,470 | 0,140 |
| 2 | Газокерамика | 500 | 0,45 | 0,14 | 0,24 |
| | Газокерамика | 600 | 0,6 | 0,18 | 0,20 |
| | Газокерамика | 700 | 0,7 | 0,22 | 0,17 |

Для определения зоны конденсации влаги построим профиль давления насыщенного водяного пара E_i и профиль парциального давления водяного пара e_i в ограждении. Зоной конденсации считается участок ограждающей конструкции, на котором выполняется условие конденсации влаги $e_i > E_i$.

Графические зависимости, показывающие распределение максимального и действительного значений парциальных давлений водяного пара, изображены на рис. 3. Температура и влажность наружного воздуха приняты для наиболее холодного месяца – января.

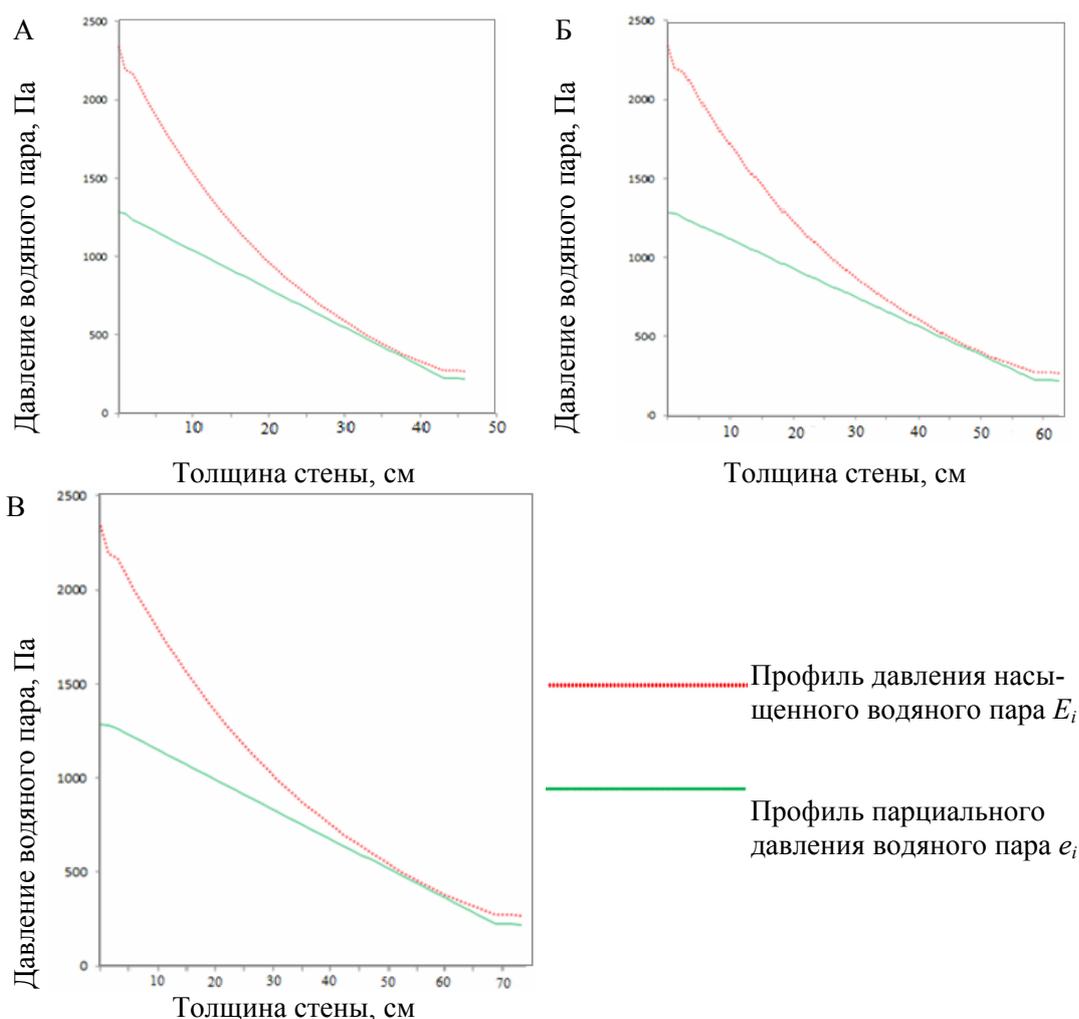


Рис. 3. Профили действительного и парциального давлений для ограждающей конструкции:
 А – газокерамика средней плотностью 500 кг/м³; Б – газокерамика средней плотностью 600 кг/м³; В – газокерамика средней плотностью 700 кг/м³

Расчет влажностного режима стен из газокерамики средней плотностью 500 кг/м², 600 кг/м² и 700 кг/м² показал, что для принятых условий эксплуатации (наиболее холодный месяц – январь) конденсация влаги наблюдаться не будет.

Список литературы

1. Береговой, В.А. Формирование ячеистой структуры кремнистой керамики / В.А. Береговой, Е.В. Снадин // Региональная архитектура и строительство. – 2016. – № 2(27). – С. 55–59.
2. Береговой, В.А. Применение природных силицитов в технологии ячеистой керамики / В.А. Береговой, Е.В. Снадин // Известия вузов. Строительство. – 2018. – № 2(710). – С. 13–20.
3. Снадин, Е.В. Гидрофизические показатели газокерамики на основе природных силицитов (опок) / Е.В. Снадин, В.А. Береговой // Ресурсоэнергоэффективные технологии в строительном комплексе: VII МНТК. – Саратов: СГТУ имени Гагарина Ю.А., 2019. – С. 306–309.
4. Корниенко, С.В. Оценка влажностного режима многослойной стеновой конструкции в годовом цикле / С.В. Корниенко, Н.И. Ватин, М.Р. Петриченко, А.С. Горшков // Строительство уникальных зданий и сооружений. – 2015. – № 6. – С. 19–33.
5. Фролов, М.В. Оценка влажностного режима в стенах из газобетона в зависимости от характеристик наружного отделочного покрытия / М.В. Фролов // Региональная архитектура и строительство. – 2020. – № 1(42). – С. 90–97.
6. ГОСТ Р 54855-2011. Материалы и изделия строительные. – М., 2011.
7. Прошин, А.П. Ячеистый бетон для теплоизоляции ограждающих конструкций зданий и инженерных коммуникаций / А.П. Прошин [и др.] // Строительные материалы. – 2002. – № 3. – С. 14–15.
8. Шерешевский, И.А. Конструирование гражданских зданий / И.А. Шерешевский. – М.: Архитектура-С., 2005. – 176 с.
9. СП 131.13330.2018. Строительная климатология. Актуализированная редакция СНиП 23-01-99. – М., 2018.
10. СП50.13330.2012. Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003. – М., 2012.

References

1. Beregovoy, V.A. Formation of cellular structure of siliceous ceramics / V.A. Beregovoy, E.V. Snadin // Regional architecture and engineering. – 2016. – № 2(27). – P. 55–59.
2. Beregovoy, V.A. Application of natural silicites in cellular ceramics technology / V.A. Beregovoy, E.V. Snadin // Izvestiya Vuzov. Construction. – 2018. – № 2(710). – P. 13–20.
3. Snadin, E.V. Hydrophysical parameters of gas ceramics based on natural silicites (opok) / E.V. Snadin, V.A. Beregovoy // Resource-and energy-efficient technologies in the construction complex: VII ISTC. – Saratov: State Technical University named after Gagarin Yu. A., 2019. – P. 306–309.
4. Kornienko, S.V. Assessment of the humidity regime of a multi-layer wall structure in the annual cycle / S.V. Kornienko, N.I. Vatin, M.R. Petrichenko, A.S. Gorshkov // Construction of unique buildings and structures. – 2015. – №. 6. – P. 19–33.
5. Frolov, M.V. Assessment of humidity conditions in the walls of aerated concrete depending on the characteristics of the external finishing coating / M.V. Frolov // Regional architecture and engineering. – 2020. № 1(42) – P. 90–97.
6. GOST R 54855-2011. Construction Materials and Products. – M., 2011.
7. Proshin, A.P. Cellular concrete for thermal insulation of enclosing structures of buildings and engineering communications / A.P. Proshin [et al.] // Building materials. – 2002. – No. 3. – P. 14–15.

8. Shereshevsky, I.A. Construction of civil buildings / I.A. Shereshevsky. – M.: Architecture-S., 2005. – 176 p.

9. P 131.13330.2018. Construction climatology. Updated version of SNiP 23-01-99. – M., 2018.

10. SP50. 13330. 2012. Thermal protection of buildings. Updated version of SNiP 23-02-2003. – M., 2012.

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

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

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

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

Володин Антон Сергеевич,
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

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

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

Volodin Anton Sergeevich,
Undergraduate student

ОБЗОР МЕТОДИКИ ПРИМЕНЕНИЯ ПРИБОРОВ КОМПРЕССИОННОГО СЖАТИЯ И ОДНОПЛОСКОСТНОГО СРЕЗА В ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ МАГИСТРАНТОВ

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

Представлен обзор методики применения (исследования) приборов компрессионного сжатия и одноплоскостного среза в исследовательской деятельности магистрантов с целью определения основных деформационных и прочностных характеристик: угол внутреннего трения, удельное сцепление, компрессионный модуль деформации, одометрический модуль деформации. Установлены зависимости между вертикальным напряжением и вертикальной деформацией и между вертикальным напряжением и относительной деформацией для песчаных грунтов средней крупности. Дана оценка пригодности данного вида грунта в качестве несущего слоя естественного основания.

Ключевые слова: полевые и лабораторные методы испытания грунта, физико-механические свойства грунта

REVIEW OF METHODS FOR APPLYING COMPRESSION AND SINGLE-PLANE SLICE DEVICES IN RESEARCH ACTIVITIES OF UNDERGRADUATES

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

The review of methods of application (research) of compression and single-plane cross-section devices in the research activities of undergraduates is presented in order to determine the main deformation and strength characteristics: internal friction angle, specific adhesion, compression modulus of deformation, oedometer modulus of deformation. The relationships between vertical stress and vertical strain and between vertical stress and relative strain are established for medium-sized sandy soils. An assessment of the suitability of this type of soil as a bearing layer of the natural base is given.

Keywords: field and laboratory methods of soil testing, physical and mechanical properties of soil

Песок является одним из наиболее доступных природных материалов, используемых в различных направлениях строительной отрасли. Многообразие видов этой горной породы зависит от историко-геологических условий формирования и места нахождения залежей, способов добычи и обработки. Полевые и лабораторные методы

позволяют определить физико-механические характеристики грунтов и, как результат, возможность их применения при строительстве зданий и сооружений.

В нашей работе представлен обзор методики применения (исследования) приборов компрессионного сжатия и одноплоскостного среза [1, 2] в исследовательской деятельности магистрантов с целью определения основных деформационных и прочностных характеристик: угол внутреннего трения, удельное сцепление, компрессионный модуль деформации, одометрический модуль деформации [3, 4]. Объектом исследования являлся образец песка средней крупности.

Опыт был выполнен с помощью прибора «Компрессионный одометр с возможностью измерения боковых напряжений» на образце сухого песка (рис. 1). Был заполнен журнал испытаний в электронном формате в виде сводной таблицы. В результате обработки данных получены следующие зависимости: между вертикальным напряжением и вертикальной деформацией (рис. 2) и между вертикальным напряжением и относительной деформацией (рис. 3).



Рис. 1. Подготовка образца грунта к испытанию на приборе «Компрессионный одометр»

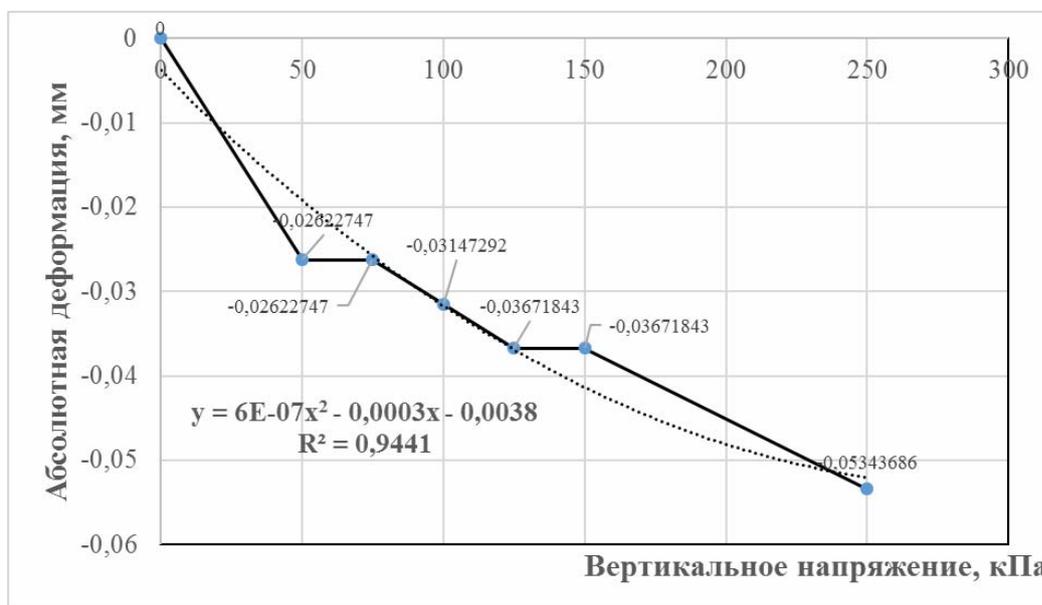


Рис. 2. Зависимость между вертикальным напряжением и вертикальной деформацией

Опыты показывают, что при вертикальном нагружении объем образца грунта уменьшается. Полученные на данном этапе результаты определения механических характеристик будут использованы при определении физических параметров исследуемого грунта [5].

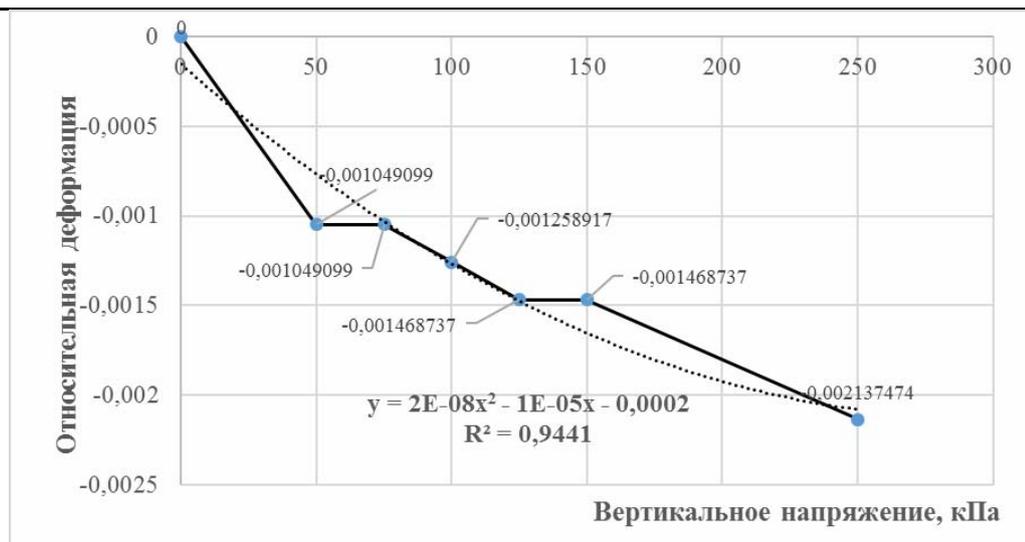


Рис. 3. Зависимость между вертикальным напряжением и относительной деформацией

Для построения компрессионной кривой необходим такой параметр грунта, как изначальный коэффициент пористости e_0 .

$$e_0 = \frac{(1+w) \cdot \gamma_s}{\gamma} - 1 = \frac{(1+0) \cdot 2,65}{1,3} - 1 = 1,03,$$

где w – весовая влажность образца; γ_s – плотность частиц образца (песок мелкий);

$$\gamma = \frac{m}{V} = \frac{194}{148,5} = 1,3 \frac{\text{г}}{\text{см}^3} \text{ – плотность грунта.}$$

Таким образом, согласно [3, 4] делаем вывод, что тип испытываемого грунта – песок средний рыхлый.

Исходя из полученных данных, приступили к построению компрессионной кривой (рис. 4), которая в графическом виде показывает зависимость изменения коэффициента пористости от вертикальных напряжений.

Коэффициент пористости при ступени нагружения i

$$e_i = e_0 - \frac{(1+e_0)S_i}{h},$$

где h – первоначальная высота образца; S_i – осадка образца.

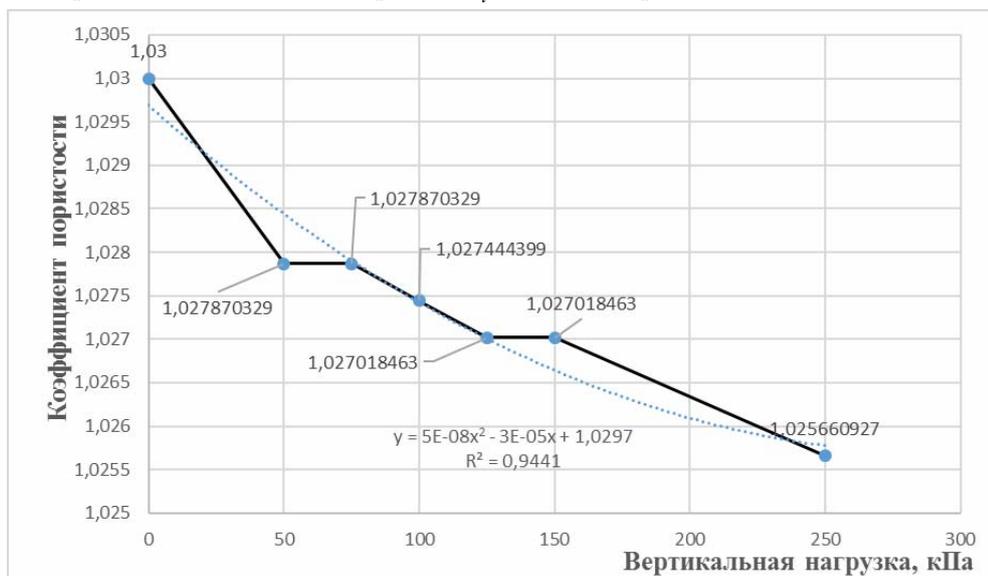


Рис. 4. Компрессионная кривая

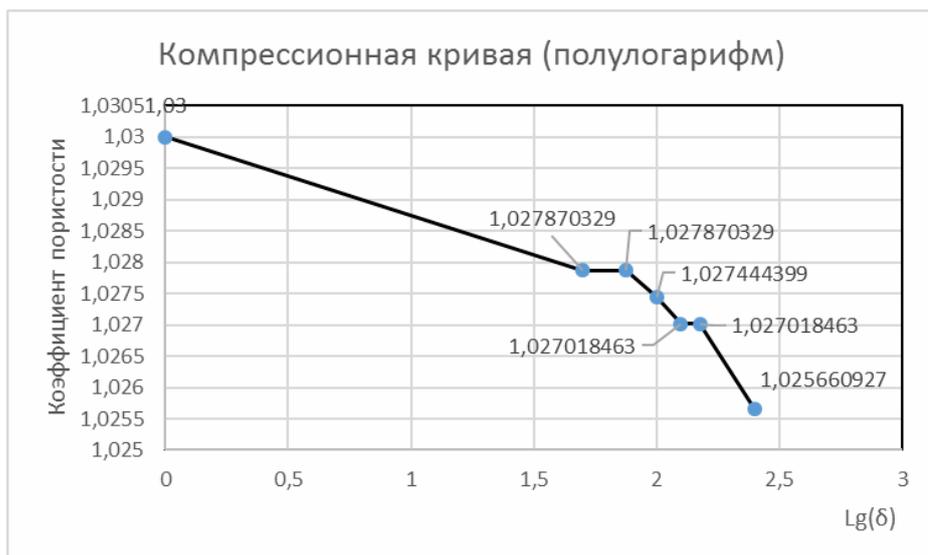


Рис. 5. Компрессионная кривая в полулогарифмическом виде

Построив данные графики, можно определить коэффициент сжимаемости грунта m_0 [МПа⁻¹]; компрессионный модуль деформации E_k [МПа]. Данные величины вычисляются для определенного интервала давления (ступени).

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

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

где β – коэффициент, учитывающий отсутствие поперечного расширения грунта в приборе ($\beta=0,8$ для песков).

Для интервала 0–50 кПа:

$$m_0 = \frac{e_i - e_{i+1}}{\delta_{i+1} - \delta_i} = \frac{1,03 - 1,02787}{0,05 - 0} = 0,0426 \text{ МПа}^{-1};$$

$$E_k = \frac{1 + e_0}{m_0} \beta = \frac{1 + 1,03}{0,0426} 0,8 = 38,2 \text{ МПа}.$$

Для интервала 50–100 кПа:

$$m_0 = \frac{e_i - e_{i+1}}{\delta_{i+1} - \delta_i} = \frac{1,02787 - 1,02744}{0,1 - 0,05} = 0,0086 \text{ МПа}^{-1};$$

$$E_k = \frac{1 + e_0}{m_0} \beta = \frac{1 + 1,03}{0,0086} 0,8 = 188,83 \text{ МПа}.$$

Для интервала 100–150 кПа:

$$m_0 = \frac{e_i - e_{i+1}}{\delta_{i+1} - \delta_i} = \frac{1,02744 - 1,027}{0,15 - 0,1} = 0,0088 \text{ МПа}^{-1};$$

$$E_k = \frac{1 + e_0}{m_0} \beta = \frac{1 + 1,03}{0,0088} 0,8 = 184,54 \text{ МПа}.$$

Для интервала 150–250 кПа:

$$m_0 = \frac{e_i - e_{i+1}}{\delta_{i+1} - \delta_i} = \frac{1,027 - 1,02566}{0,25 - 0,15} = 0,0134 \text{ МПа}^{-1};$$

$$E_k = \frac{1+e_0}{m_0} \beta = \frac{1+1,03}{0,0134} 0,8 = 121,2 \text{ МПа.}$$

Определение одометрического модуля деформации производится исходя из рис. 2 по следующей формуле:

$$E_{ord} = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon}.$$

Для интервала 0–50 кПа:

$$E_{ord} = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon} = \frac{50-0}{0,001049} = 47,665 \text{ МПа.}$$

Для интервала 50–100 кПа:

$$E_{ord} = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon} = \frac{100-50}{0,001259-0,001049} = 238,095 \text{ МПа.}$$

Для интервала 100–150 кПа:

$$E_{ord} = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon} = \frac{150-100}{0,0014687-0,001259} = 238,5 \text{ МПа.}$$

Для интервала 150–250 кПа:

$$E_{ord} = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon} = \frac{250-150}{0,0021375-0,0014687} = 150 \text{ МПа.}$$

Между компрессионным и одометрическим модулями деформации существует следующая связь:

$$E_k = \beta \cdot E_{ord},$$

исходя из которой и определяли фактическое значение коэффициента β для исследуемого образца песка при заданных параметрах нагружения.

$$\beta_1 = \frac{E_{k1}}{E_{ord1}} = \frac{38,2}{47,665} = 0,8;$$

$$\beta_2 = \frac{E_{k2}}{E_{ord2}} = \frac{188,83}{238} = 0,79;$$

$$\beta_3 = \frac{E_{k3}}{E_{ord3}} = \frac{184,54}{238,5} = 0,77;$$

$$\beta_4 = \frac{E_{k4}}{E_{ord4}} = \frac{121,2}{150} = 0,81;$$

$$\beta = \frac{0,8 + 0,79 + 0,77 + 0,81}{4} = 0,79.$$

Таким образом, среднее значение коэффициента $\beta = 0,79$, полученное опытным путем [3, 4], приближается к нормированному значению $\beta = 0,8$ для песков. Следовательно, исследуемый грунт можно использовать в качестве основания.

Выполненные лабораторные и расчётно-аналитические исследования позволили: во-первых, магистрантам приобрести практические навыки исследовательской деятельности в области геотехники; во-вторых, выполнить оценку пригодности песчаного грунта. Следует отметить, что испытания проводились на образце песка в рыхлом воздушно-сухом состоянии, использование 2 видов приборов позволило определить более широкий спектр физико-механических характеристик грунта. Однако в инженерной деятельности следует учитывать, что данные лабораторных и полевых испытаний могут различаться. Поэтому темой дальнейших исследований будет изучение грунтов не только естественной влажности, но и в водонасыщенном состоянии в приборах компрессионного сжатия и одноплоскостного среза.

Список литературы

1. Болдырев, Г.Г. Методы определения механических свойств грунтов с комментариями к ГОСТ 12248-2010: монография / Г.Г. Болдырев. – 2-е изд., доп. и испр. – М.: ООО «Прондо», 2014. – 812 с.
2. Фурсов, В.В. Определение деформационных характеристик грунтов методом компрессионного сжатия / В.В. Фурсов, М.В. Балюра. – М.: Изд-во Том. гос. архит.-строит. ун-та, 2016. – 23 с.
3. ГОСТ 30416-2012. Грунты. Лабораторные испытания. Общие положения. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200096093>. Дата обращения: 18.01.2020.
4. 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.
5. Тарасеева, Н.И. Исследование теории процесса фильтрационной консолидации водонасыщенных грунтов под воздействием нагрузки многоэтажного жилого дома в г. Заречном / Н.И. Тарасеева, Т.С. Шаронова, К.А. Кондратьев // Приднепровский научный вестник. – 2018. – Т. 5, № 3. – С. 041–044. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35129760>

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. Fursov, V.V. Determination of soil deformation characteristics by compression method / V.V. Fursov, M.V. Balyura. – M.: Vol. state publishing house. archit.-builds. UN-TA, 2016. – 23 p.
3. GOST 30416-2012. Soils. Laboratory test. Generalities. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200096093>. Date of access: 18.01.2020.
4. GOST 12248-2010. Soils. Methods for laboratory determination of strength and deformability characteristics. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/gost-12248-2010>. Accessed: 18.01.2020.
5. Taraseeva, N.I. Investigation of the theory of filtration consolidation of water-saturated soils under the influence of load of a multi-storey residential building in Zarechny / N.I. Taraseeva, T.S. Sharonova, K.A. Kondratev // Pridneprovskiy Scientific Bulletin. – 2018. – Vol. 5, No. 3. – P. 041–044. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35129760>

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

Моськин Ярослав Юрьевич,
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

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

Moskin Yaroslav Yurievich,
Student

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ СОЗДАНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ПРИМЕРЕ СЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ

И.Ю. Шитова, Я.Ю. Моськин

Рассмотрены методологические принципы создания композиционных строительных материалов. Проведена поэтапная декомпозиция показателей качества, экстенсивных и интенсивных свойств материала. Выявлены доминирующие технологические и рецептурные факторы.

Ключевые слова: принцип, микроструктура, мезоструктура, макроструктура, декомпозиция, системный анализ, качество, рецептурный фактор, технологический фактор, интенсивное свойство, экстенсивное свойство, серный композит

METHODOLOGICAL PRINCIPLES OF CREATION BUILDING MATERIALS ON THE EXAMPLE OF SULFUR COMPOSITES

I.Yu. Shitova, Ya.Yu. Moskin

The article deals with the methodological principles of creating composite building materials. A step-by-step decomposition of quality indicators, extensive and intensive properties of the material has been carried out. The dominant technological and prescription factors are revealed.

Keywords: principle, microstructure, mesostructure, macrostructure, decomposition, system analysis, quality, formulation factor, process factor, intensive property, extensive property, sulfur composite

Основные закономерности формирования структуры и свойств композиционных строительных материалов на различных вяжущих веществах подробно описаны в работах В.И. Соломатова [1, 2]. По его теории композиционные строительные материалы состоят из нескольких структур, то есть являются полиструктурными, причем одна структура может делать переход в другую по принципу «структура в структуре». Число таких структур и, соответственно, уровней находится в прямой зависимости от рецептуры создаваемого материала и знаний, умений и навыков экспериментатора. В большинстве случаев число таких структурных уровней равно трём:

- микроструктура – характерна для материалов на основе различных вяжущих (для серных композитов – это серное вяжущее);
- мезоструктура – формируется при соединении вяжущих веществ с тонкодисперсным наполнителем (таким образом формируется связующее – серная мастика);
- макроструктура – формируется при соединении связующего с различными видами заполнителей (так создаются бетоны – серные бетоны).

Баженовым Ю.М. [3] предложена методология разработки строительных композиционных материалов как систем, состоящих из взаимно действующих компонентов (элементов) разных степеней значимости. Анализируя свойства лишь некоторых компонентов (элементов), понять суть всей системы не представляется возможным. В этом заключается парадокс целостности: целостное описание строительного материала допустимо только при «целостном» разделении (разбиении) его на составные части. Такой процесс носит название декомпозиция [4]. Декомпозиция длится до тех пор, пока не получится рассмотреть предмет системного анализа как совокупность элементарных звеньев (компонентов).

Строительный материал – это продукт технологии, следовательно, декомпозицию целесообразно проводить по качеству, то есть совокупности свойств материала, которая будет удовлетворять потребностям заказчика. Показатели качества для серных композитов, изготовленных на кварцевой муке, предварительно обработанной для блокировки активной поверхности раствором каучука, и предназначенных работать в агрессивных средах (водных, кислых, солевых), приведены на рис. 1. Основу декомпозиции системы качества таких материалов составляют основные требования, которые предъявляются к химически стойким бетонам (по ГОСТ 25246-82 «Бетоны химически стойкие»), а также предполагаемые области применения.

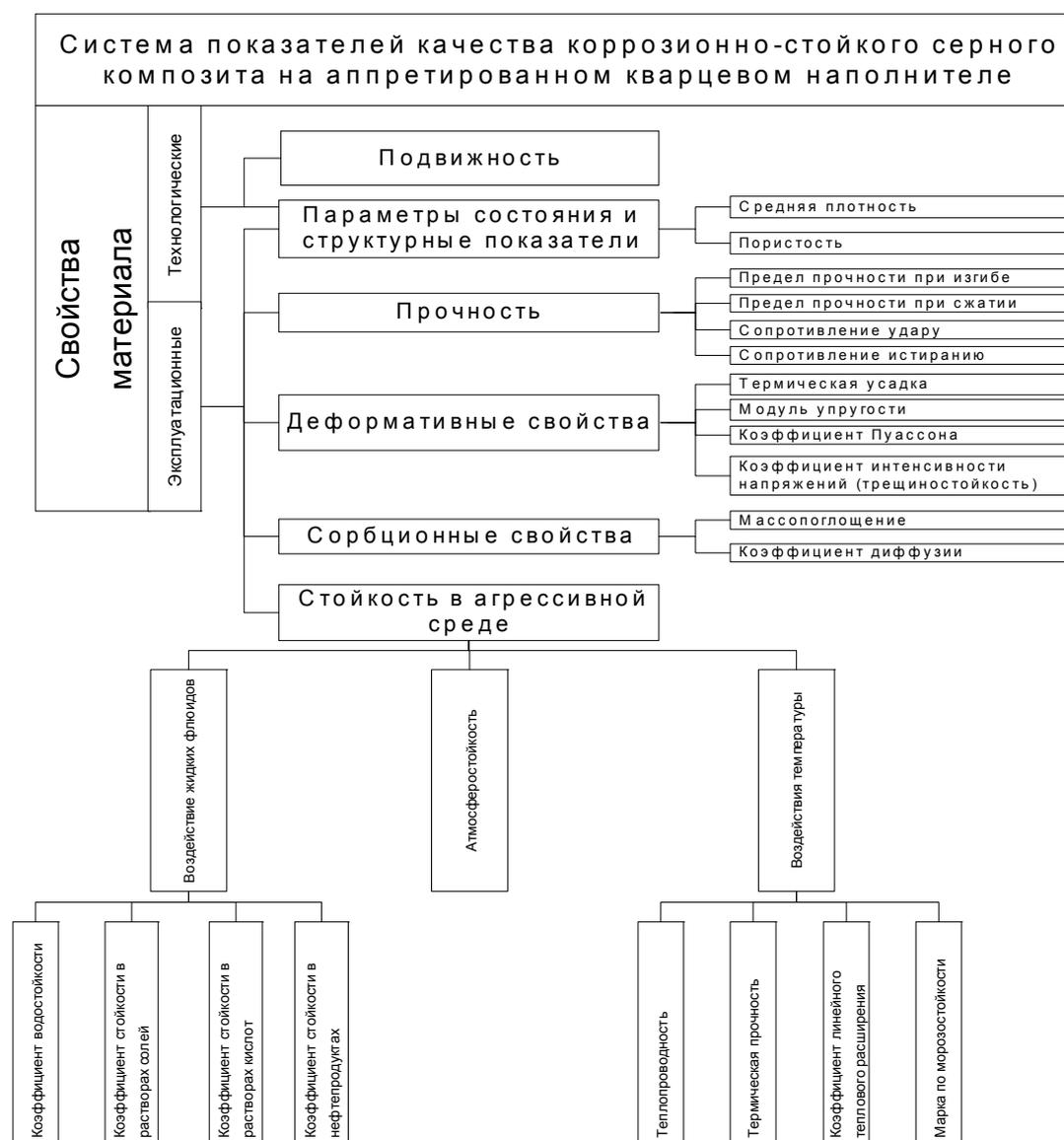


Рис. 1. Показатели качества серных композитов, наполненных кварцевой мукой и стойких к различным видам коррозии

Известным фактом остается то, что огромное число рецептурно-технологических факторов влияют на формирующуюся структуру и, соответственно, свойства композита. Несомненно, что значимость этих факторов различная, поэтому важно выделять те, которые оказывают максимальное влияние на процесс становления заданной структуры и заданных свойств. И здесь исследователю необходимо применить принцип Парето: всего лишь двадцать процентов рецептурных и технологических факторов на восемьдесят процентов определяют качество структуры и свойства композиционного материала.

Для определения рецептурных и технологических факторов, которые будут выполнять главенствующую роль, предлагаем использовать декомпозицию определенной группы свойств, в частности, экстенсивных и интенсивных по явлениям, процессам и компонентам (фазам) с выявлением элементарных факторов.

Экстенсивные свойства в большей степени находятся в зависимости от рецептуры создаваемого материала и в меньшей – от его структуры [5]. В основе декомпозиции таких свойств у серных композитов лежит типологическое разделение факторов на рецептурные и технологические (рис. 2). Анализ рисунка показывает, что экстенсивные свойства изменяются при варьировании количества отдельного компонента в композите.

Интенсивные являются структурно-чувствительными свойствами, напрямую зависят от рецептуры материала, его формирующейся структуры и от интенсивности физико-химических процессов и явлений, которые идут на границе раздела фаз, а именно «вяжущее – наполнитель». В основе декомпозиции структурно-чувствительных свойств лежит выделение явлений, процессов и фаз (рис. 3), продолжается такое разложение до установления элементарных управляющих рецептурно-технологических факторов, значимость которых определяется определенным уровнем в системе.

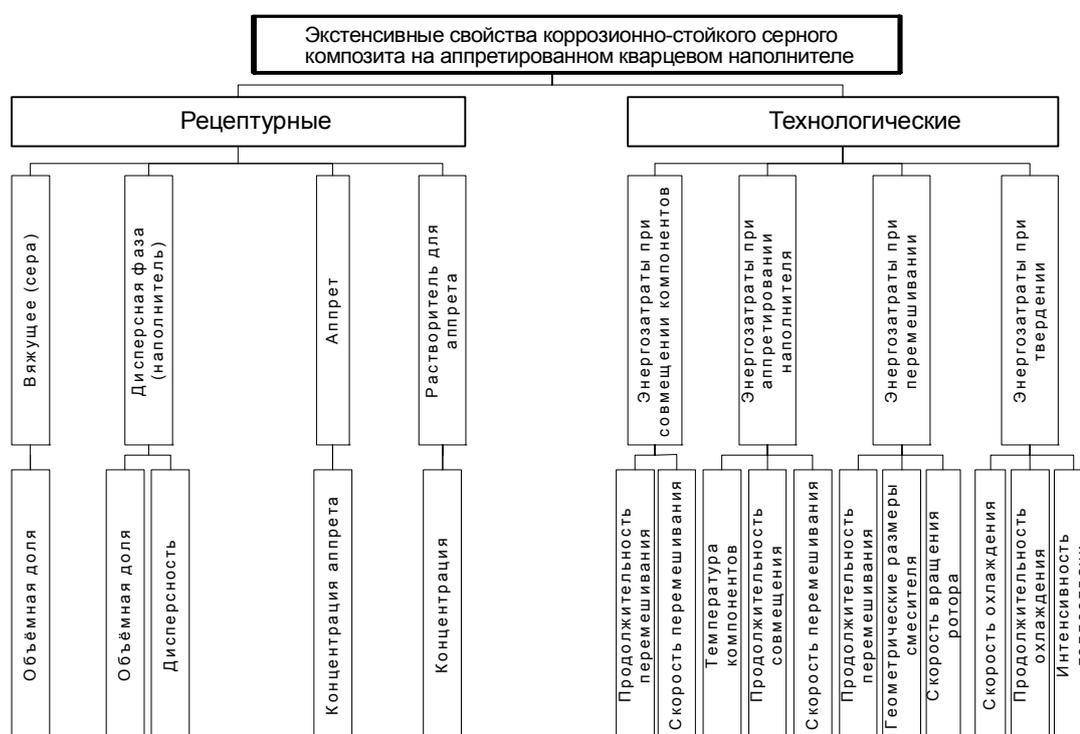


Рис. 2. Декомпозиция экстенсивных свойств серных композитов, наполненных кварцевой мукой и стойких к различным видам коррозии

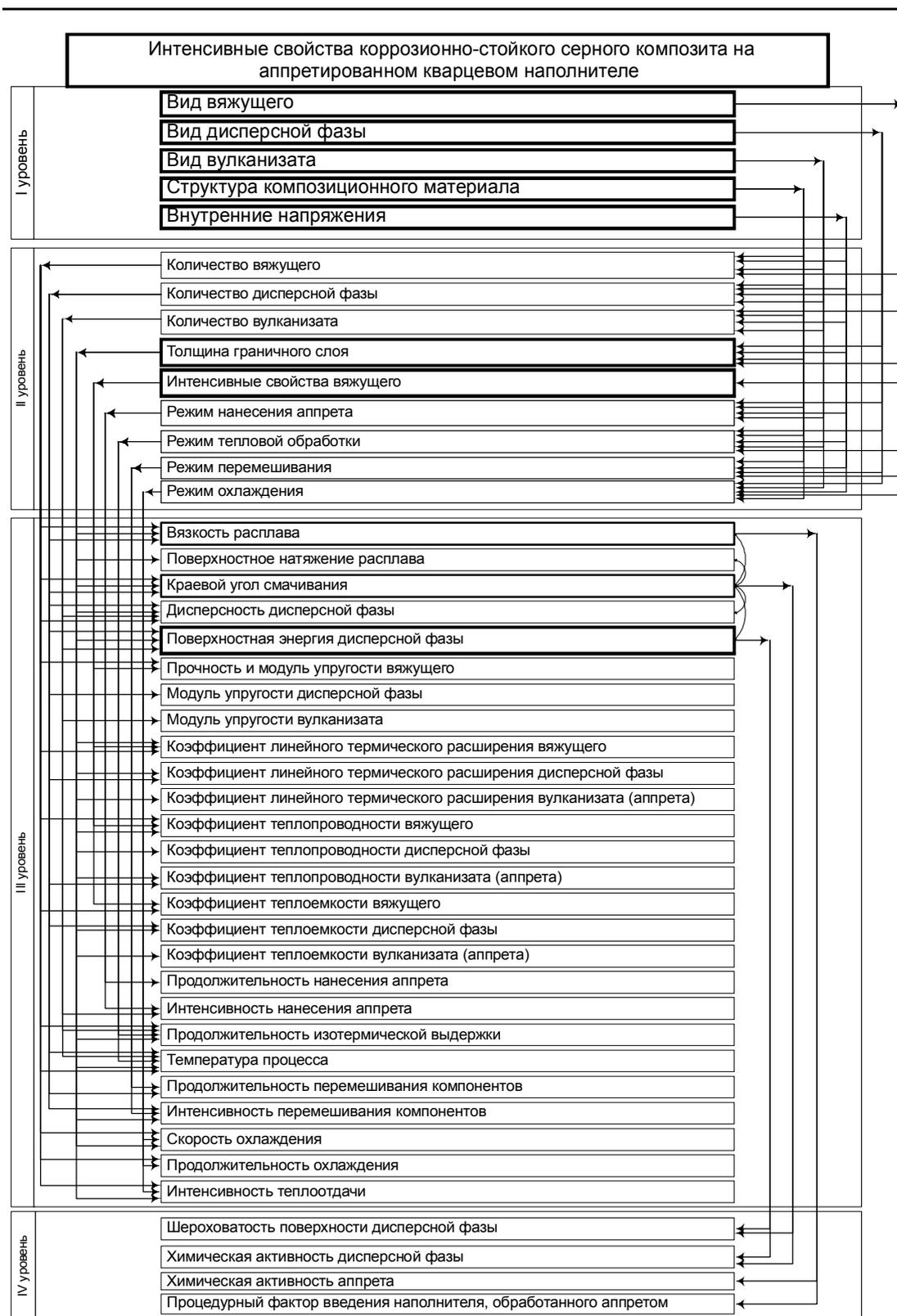


Рис. 3. Декомпозиция интенсивных свойств серных композитов, наполненных кварцевой мукой и стойких к различным видам коррозии

В табл. 1 представлены рецептурные и технологические факторы, оказывающие максимальное действие на свойства и техпроцесс приготовления материала.

Зная, какие исходные компоненты используются при изготовлении материала (в нашем случае – сера, измельченный кварцевый песок и раствор аппрета), количество управляющих факторов можно уменьшить (табл. 2).

Т а б л и ц а 1

Элементарные управляющие рецептурные и технологические факторы

| Уров- ни | Факторы | | | |
|-------------|-------------|---|-----------------|---|
| | рецептурные | | технологические | |
| | № | Название фактора | № | Название фактора |
| II | 1 | Объёмная доля (количество) исходных компонентов (вяжущее, наполнитель, аппретирующий агент) | | |
| | 2 | Интенсивные свойства вяжущего (прочность, модуль упругости, линейный коэффициент термического расширения) | | |
| III | 1 | Удельная поверхность дисперсной фазы | 1 | Длительность и интенсивность нанесения аппретирующего агента |
| | 2 | Модули упругости дисперсной фазы и образующегося вулканизата | 2 | Температурный режим и длительность изотермической выдержки |
| | 3 | Деформативные характеристики дисперсной фазы и образующегося вулканизата (линейный коэффициент температурного расширения) | 3 | Длительность и интенсивность перемешивания компонентов |
| | 4 | Теплофизические характеристики дисперсной фазы и вулканизата (коэффициент теплопроводности, теплоёмкость) | 4 | Длительность и скорость охлаждения |
| IV | 1 | Реакционная способность дисперсной фазы | 1 | Процедура введения обработанной аппретирующим агентом дисперсной фазы |
| | 2 | Реакционная способность аппретирующего агента | | |

Т а б л и ц а 2

Доминирующие управляющие рецептурные и технологические факторы

| Уров- ни | Факторы | | | |
|-------------|-------------|---|-----------------|---|
| | рецептурные | | технологические | |
| | № | Название фактора | № | Название фактора |
| II | 1 | Объёмная доля (количество) исходных компонентов (вяжущее, наполнитель, аппретирующий агент) | | |
| III | 1 | Удельная поверхность дисперсной фазы | 1 | Длительность и интенсивность нанесения аппретирующего агента |
| | | | 2 | Длительность и интенсивность перемешивания компонентов |
| | | | 3 | Температурный режим и длительность изотермической выдержки |
| | | | 4 | Длительность и скорость охлаждения |
| IV | | | 1 | Процедура введения обработанной аппретирующим агентом дисперсной фазы |

На основании рассмотренных выше методологических принципов, применимых к созданию любых материалов с заданными показателями качества, представим алгоритм синтеза композиционного строительного материала на примере серных композитов:

- постановка цели и определение задач будущего исследования, которые формулируются исходя из анализа предполагаемых условий работы материала и технико-экономического обоснования модифицирования традиционных материалов;
- выделение показателей качества материала на основании предполагаемых областей применения;
- научно обоснованный выбор исходных компонентов (например, с применением фундаментальных знаний о механизмах взаимодействия компонентов материала и агрессивных сред);
- выделение структурных уровней и критериев их оптимизации на основе теории Соломатова В.И., имеющейся информации об особенностях рецептуры и технологии изготовления традиционных химически стойких материалов и проектируемых показателей качества;
- классификация и выделение управляющих рецептурных и технологических факторов на основании полученных закономерностей формирования структуры и свойств традиционных химически стойких композитов на основе серного вяжущего;
- установление закономерностей влияния доминирующих рецептурных и технологических факторов на свойства материала;
- многокритериальная оптимизация состава на основании полученных экспериментально-статистических моделей, то есть определение оптимальной рецептуры и оптимального техрежима изготовления композита с заданными показателями свойств. Как правило, оптимизацию ведут по свойству, оказывающему доминирующее влияние на качество материала, при этом другие показатели качества должны иметь значения, варьирующиеся в определенном диапазоне.

Список литературы

1. Соломатов, В.И. Развитие полиструктурной теории композиционных строительных материалов / В.И. Соломатов // Материалы юбилейной конференции. – М.: МИИТ, 2001. – С. 56–66.
2. Соломатов, В.И. Элементы общей теории композиционных строительных материалов / В.И. Соломатов // Материалы юбилейной конференции. – М.: МИИТ, 2001. – С. 41–56.
3. Баженов, Ю.М. Системный подход к разработке и управлению качеством материалов специального назначения / Ю.М. Баженов, А.М. Данилов, Е.В. Королев, И.А. Гарькина // Архитектура и строительство. – 2006. – №1. – С. 45–54.
4. Антонов, А.В. Системный анализ / А.В. Антонов. – М.: Высшая школа, 2004. – 454 с.
5. Королев, Е.В. Радиационно-защитные и коррозионно-стойкие серные строительные материалы / Е.В. Королев, А.П. Прошин, Ю.М. Баженов, Ю.А. Соколова. – М.: Палеотип, 2006. – 272 с.

References

1. Solomatov, V.I. Development of the polystructural theory of composite building materials / V.I. Solomatov // Materials of the anniversary conference. – M.: MIIT, 2001. – P. 56–66.
2. Solomatov, V.I. Elements of the general theory of composite construction materials / V.I. Solomatov // Materials of the anniversary conference. – M.: MIIT, 2001. – P. 41–56.
3. Bazhenov, Yu.M. Systematic approach to the development and quality control of materials for special purpose / Yu.M. Bazhenov, A.M. Danilov, E.V. Korolev, I.A. Garkina // Architecture and construction. – 2006. – No. 1. – P. 45–54.

-
4. Antonov, A.V. System analysis / A.V. Antonov. – M.: Higher School, 2004. – 454 p.
 5. Korolev, E.V. Radiation-protective and corrosion-resistant sulfur building materials / E.V. Korolev, A.P. Proshin, Yu.M. Bazhenov, Yu.A. Sokolova. – M.: Paleotype, 2006. – 272 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

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

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

Колесников Илья Владимирович,
аспирант
E-mail: snorch95@mail.ru

Телегин Ярослав Игоревич,
магистрант
E-mail: baron.196@mail.ru

Лавров Иван Юрьевич,
магистрант
E-mail: lavrov0909@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

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

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

Kolesnikov Ilya Vladimirovich,
Postgraduate student
E-mail: snorch95@mail.ru

Telegin Yaroslav Igorevich,
Undergraduate student
E-mail: baron.196@mail.ru

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

ВЛИЯНИЕ ОДНОРОДНОСТИ СВОЙСТВ ГРАНУЛ КЕРАМЗИТА ПРИ ОСЕВОМ И ОБЪЕМНОМ СЖАТИИ НА ДОЛГОВЕЧНОСТЬ КЕРАМЗИТОБЕТОНА

В.Л. Хвастунов, К.Н. Махамбетова, И.В. Колесников,
Я.И. Телегин, И.Ю. Лавров

Высказана гипотеза о влиянии множества технологических факторов – прочности и плотности керамзита, его однородности по физико-механическим характеристикам, деформативности керамзита и растворной части – на деструктивные процессы при низкотемпературном замораживании и оттаивании и их интенсивности. Для оценки однородности свойств керамзита при объемном сжатии рассмотрены методика и установка для осуществления исследований. Проведенные исследования позволили оценить долговечность керамзитобетона по критерию деформации расширения при низкотемпературном замораживании и оттаивании в зависимости от технологических параметров.

Ключевые слова: керамзитобетон, керамзит, цемент, кварцевый песок, керамзитовый песок, прочность, деформативность, морозостойкость, коэффициент вариации

INFLUENCE OF UNIFORMITY OF EXPANDED CLAY GRANULES PROPERTIES UNDER AXIAL AND VOLUMETRIC COMPRESSION ON THE DURABILITY OF EXPANDED CLAY CONCRETE

V.L. Khvastunov, K.N. Makhambetova, I.V. Kolesnikov,
Ya.I. Telegin, I.Yu. Lavrov

A hypothesis is made about the influence of a lots of technological factors – the strength and density of expanded clay, its uniformity in physical and mechanical characteristics, the deformability of expanded clay and the solution part on destructive processes during low-temperature freezing and thawing, and their intensity. To assess the homogeneity of the properties of expanded clay under volumetric compression, the method and installation for conducting research are given. The research

made it possible to evaluate the durability of expanded clay concrete by the criterion of expansion deformation during low-temperature freezing and thawing, depending on the technological parameters.

Keywords: expanded clay concrete, expanded clay, cement, quartz sand, expanded clay sand, strength, deformability, frost resistance, coefficient of variation

Ряд исследователей пришли к выводу, что долговечность керамзитобетона наиболее распространенных марок М100, М200, М300, применяемых во многих отраслях строительства, зависит от множества факторов: прочности и плотности гранул керамзита, изменчивости их свойств, деформационных параметров керамзита и растворной части, особенно их соотношения, и др. [1, 2, 4, 5, 10, 13, 14].

Основная цель наших исследований заключалась в том, чтобы сравнить свойства керамзитобетона по долговечности, например по морозостойкости, приготовленного на заранее известных характеристиках керамзита и растворной части. Для этого были проанализированы свойства 6 партий керамзита различных предприятий с точки зрения их фракционного состава, насыпной плотности как в объеме, так и отдельных гранул, прочности при осевом и объемном сжатии, модуля деформации, изменчивости этих свойств в каждой партии [3, 6-9, 12, 13]. Размер отобранных гранул керамзита в каждой партии находился в пределах 18-22 мм.

Особенностью проведенных исследований являлось то, что для оценки изменчивости свойств гранул керамзита при объемном сжатии была изготовлена специальная установка. Для определения показателя однородности по прочности зерен керамзита необходимо испытать отдельно большое их количество, что весьма длительно и трудоемко. Предложено проводить определение прочности и оценку однородности при одновременном испытании совокупности гранул путем объемного сжатия в гидропластмассе. При всестороннем сжатии гранул в гидропластмассе в них возникает по всему сечению однородное поле напряжений, которое не зависит от размеров и формы зерен. По мере нагружения совокупности гранул разрушение отдельных зерен происходит в разные моменты времени, что фиксировалось приемником акустических сигналов.

На рис. 1 представлена схема разработанной для осуществления этого способа установки, представляющей собой стальной цилиндр с внутренним диаметром 114 мм, высотой 160 мм, толщиной стенок 15 мм.

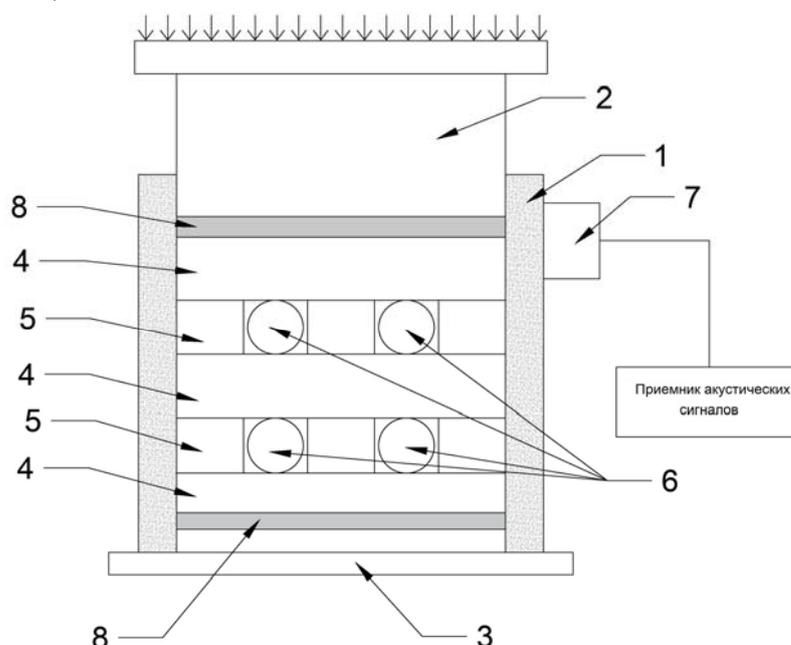


Рис. 1. Установка для определения прочности гранул керамзита в условиях объемного сжатия: 1 – стальной цилиндр; 2 – поршень; 3 – пуансон; 4 – сплошные диски; 5 – перфорированные диски; 6 – отверстия; 7 – приемник акустических сигналов; 8 – резиновые прокладки

Поршень 2, пуансон 3 изготовлены под внутренний диаметр цилиндра. Цилиндр заполняется послойно сплошными дисками 4 ($\varnothing 114$ мм, $h=15$ мм) и перфорированными дисками 5 ($\varnothing 114$ мм, $h=20$ мм) с отверстиями 6 под гранулы. Приемник акустических сигналов 7 крепится к боковой поверхности цилиндра. Резиновые прокладки 8 предохраняют гидропластмассу от выдавливания при нагружении. Для отливки сплошных и перфорированных дисков были изготовлены специальные металлические формы, в которые заливалась расплавленная в сушильном шкафу при $t=180$ °С гидропластмасса.

Порядок проведения испытаний следующий: из исследуемой партии керамзита фракции 15-20 мм отбирали 100-120 гранул; на дно цилиндра последовательно укладывали сплошной диск из гидропластмассы, перфорированный диск, в отверстия которого устанавливали 12 гранул, далее снова сплошной диск; в таком порядке укладывали три слоя; в цилиндр вставляли поршень, на который передавали давление ручным гидравлическим прессом с максимальным усилием 50 т.с.; сдавливание осуществляли ступенями с изменением давления в цилиндре на определенную величину, равную 5-10 % от предполагаемой разрушающей нагрузки. При каждом испытании разрушалось по 36 гранул.

Обработка полученных данных сводится к подсчету количества гранул, разрушенных на ступенях загрузки. Определяется прочность каждой гранулы по давлению, при котором она разрушилась, и далее подсчитывается коэффициент вариации прочности гранул, характеризующий их однородность. Испытаниям по описанному способу были подвергнуты 6 производственных партий керамзита, из которых были отобраны 2 партии с прочностью при сжатии в цилиндре $R_{ц}^к = 2,96$ МПа (партия I) и $R_{ц}^к = 3,12$ МПа (партия II). Полученные данные приведены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

Оценка прочности и однородности гранул керамзита I и II партий керамзита

| Партии керамзита | Прочность в цилиндре, МПа по ГОСТ 9758-2012 | Прочность при одноосном статическом сжатии, МПа, $R_{min}^к - R_{max}^к$ | Коэффициент вариации, %, $V_B^к$ | Прочность при объемном сжатии, МПа, $R_{min}^{об.сж} - R_{max}^{об.сж}$ | Коэффициент вариации, %, $V_B^{об.сж}$ |
|------------------|---|--|----------------------------------|---|--|
| Партия I | 2,96 | 3,0-10,5 | 33,8 | 11,8-29,4 | 29,5 |
| Партия II | 3,12 | 4,2-13,7 | 18,6 | 15,0-35,0 | 15,0 |

Сравнение полученных значений коэффициентов вариации прочности по предлагаемому методу и при испытании гранул на одноосное сжатие показало, что расхождение в абсолютных значениях не превышало 3–4 %, следовательно, точность определения однородности прочности гранул у обоих методов одинакова. Таким образом, предложенный способ способствует повышению производительности труда при контроле прочности и однородности по прочности пористых заполнителей в 5–8 раз.

Всесторонних исследований о влиянии однородности свойств гранул керамзита на долговечность керамзитобетона проводилось крайне мало.

Для выполнения экспериментальных исследований использовался керамзит партии I и партии II с объемной насыпной массой 550–600 кг/м³, прочностью при сжатии в цилиндре $R_{ц}=3,5-4,0$ МПа, водопоглощением за 48 часов 15 %, в цементном тесте – 8 %. Стандартная однородность керамзитов двух партий была в допустимых пределах (коэффициент вариации $V_{R_{ц}}=10$ % и $V_{\gamma}=5$ %). В то же время однородность их гранул по объемной массе и модулю деформации значительно различалась, так как коэффициент вариации указанных свойств $V_{\gamma_{к}}$, $V_{E_{зап}}$ для керамзита I партии составил 44 %, а для II партии – 19 %. С использованием керамзита I и II партий, кварцевого песка с

модулем крупности $M_k=1,88$, дробленого керамзитового песка и воды были изготовлены 4 серии образцов призм размером $100 \times 100 \times 400$ мм.

Расход цемента марки ПЦ400 в сериях керамзитобетона I-1 и II-1 составлял 310 кг/м^3 , а в сериях I-2 и II-2 – 460 кг/м^3 . В бетоне серий I-1 и II-1 использовался дробленый керамзитовый песок, в бетоне серий I-2 и II-2 – кварцевый песок с $M_{кр}=1,88$. Бетонные образцы уплотняли на виброплощадке с нормальной частотой колебаний с пригрузом 40 г/см^2 . Тепловую обработку проводили по режиму $12+4+8+12$ при $t=80^\circ\text{C}$. Результаты испытаний керамзитобетона на 28-е сутки твердения приведены в табл. 2.

Т а б л и ц а 2

Результаты испытаний керамзитобетона на 28-е сутки твердения

| Шифр серии | Коэффициент насыщения по объему | $R_{куб}^{сж}$, МПа | $R_{пр}^{сж}$, МПа | $E_{бет}^{0,2} \cdot 10^3$, МПа | R_t^0 , $\sigma/R_{пр}$ | R_t^v , $\sigma/R_{пр}$ | $E_{рас}/E_{зап}$ |
|------------|---------------------------------|----------------------|---------------------|----------------------------------|---------------------------|---------------------------|-------------------|
| I-1 | 0,5 | 16,1 | 15,3 | 11,5 | 0,61 | 0,83 | 1,14 |
| I-2 | 0,45 | 30,5 | 26,8 | 19,2 | 0,59 | 0,82 | 4,68 |
| II-1 | 0,5 | 15,7 | 14,7 | 11,1 | 0,63 | 0,84 | 1,12 |
| II-2 | 0,45 | 30,2 | 26,4 | 18,7 | 0,54 | 0,76 | 4,70 |

Для оценки особенностей поведения керамзитобетонов сопоставимых серий исследовались остаточные деформации расширения бетона на образцах размером $100 \times 100 \times 400$ мм в низкотемпературной морозильной камере после циклического замораживания и оттаивания. Деформации измерялись с помощью индикаторов часового типа после каждого цикла замораживания-оттаивания. Режимы циклического замораживания и оттаивания были приняты следующие: охлаждение от $+20^\circ\text{C}$ до -60°C – 5 ч; выдержка при -60°C – 4 ч; повышение температуры от -60°C до -20°C – 11 ч; оттаивание в проточной воде с температурой $+20^\circ\text{C}$ – 4 ч. На рис. 2, а, б приведены остаточные деформации расширения бетона, насыщенного в разной степени водой, при циклическом замораживании и оттаивании.

Анализ полученных кривых показывает, что у бетонов всех серий наблюдается рост остаточных деформаций. Существенную роль играет степень водонасыщения бетона (см. рис. 2,б).

Отрицательное действие глубокого водонасыщения, особенно под вакуумом, усугубляется различием упругих характеристик компонентов, например, у бетона серий I-2 и II-2 ($E_{рас}/E_{зап}=4,68-4,70$), у бетона серий I-1 и II-1 различие в указанных деформациях наибольшее ($E_{рас}/E_{зап}=1,12-1,14$). Большие остаточные деформации при замораживании у бетона серии II-2 на неоднородном керамзите партии I (см. табл. 1) свидетельствуют о том, что деструктивные процессы в рассматриваемых условиях зависят лишь от степени однородности заполнителя.

Анализ полученных данных показывает, что у бетона после циклического замораживания в зависимости от однородности свойств гранул керамзита значительно снижаются прочность, начальный модуль деформации и параметрические уровни микротрещинообразования R_t^0 и R_t^v . Эти неблагоприятные показатели сказываются и на морозостойкости бетона тем в большей степени, чем хуже однородность заполнителя и чем более отличаются друг от друга модули деформации компонентов бетона $E_{рас}$ и $E_{зап}$.

Выводы. От однородности свойств гранул керамзита зависит морозостойкость керамзитобетона. Деструкция в бетоне усиливается по мере насыщения бетона водой и разницы в упругих свойствах компонентов бетона. Рекомендуется для получения керамзитобетонов со стабильными свойствами соблюдать соотношение $E_{рас}/E_{зап}$ в пределах 1,5-3, коэффициент вариации объемной массы гранул принимать не выше $V_{гк}=20\%$.

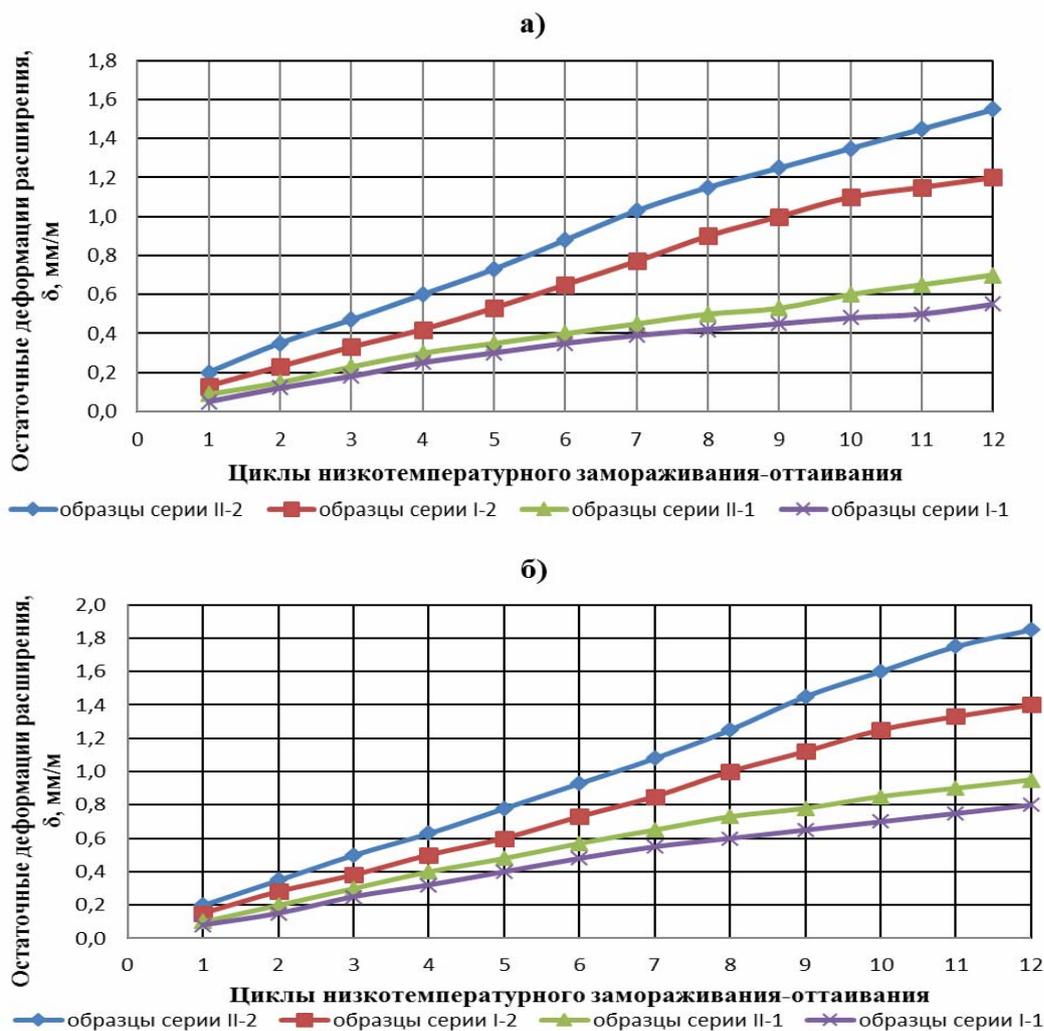


Рис. 2. Остаточные деформации расширения бетона при циклическом замораживании и оттаивании:
а – бетон, насыщенный в течение 2 суток; б – бетон, насыщенный под вакуумом

Список литературы

1. Иванов-Дятлов, И.Г. Высокопрочный керамзитобетон и его применение в мостах и гидротехнических сооружениях / И.Г. Иванов-Дятлов // Бетон и железобетон. – 1964. – №4. – С. 11–16.
2. Бужевич, Г.А. Легкие бетоны на пористых заполнителях / Г.А. Бужевич. – М.: Стройиздат, 1970. – 272 с.
3. Онацкий, С.П. Производство керамзита / С.П. Онацкий. – М.: Стройиздат, 1971. – 312 с.
4. Симонов, М.З. Основы технологии легких бетонов / М.З. Симонов. – М.: Стройиздат, 1973. – 584 с.
5. Иванов, И.А. Технология легких бетонов на искусственных пористых заполнителях / И.А. Иванов. – М.: Стройиздат, 1974. – 287 с.
6. Руководство по подбору составов конструкционных легких бетонов на пористых заполнителях. – М.: Стройиздат, 1975. – 60 с.
7. Макридин, Н.И. Физико-механические свойства зерен керамзитового гравия при осевом растяжении / Н.И. Макридин, В.Л. Хвастунов // Строительные материалы. – 1976. – №8. – С. 27–28.

8. Макридин, Н.И. Механические свойства керамзитового гравия при осевом сжатии / Н.И. Макридин, В.А. Тяпкин // *Строительные материалы*. – 1977. – №9. – С. 26–28.
9. Петров, В.П. Физико-химические основы и сырьевая база производства высокопрочных пористых заполнителей / В.П. Петров // *Строительные материалы*. – 2005. – №8. – С. 28–30.
10. Звездов, А.И. Высокопрочные легкие бетоны в строительстве и архитектуре / А.И. Звездов, В.Р. Фаликман // *Жилищное строительство*. – 2008. – №7. – С. 2–7.
11. Горин, В.М. Эффективный керамзитобетон в России / В.М. Горин, С.Л. Токарева, М.К. Кабанова // *Строительные материалы*. – 2009. – №9. – С. 54–57.
12. Петров, В.П. Пористые заполнители из отходов промышленности / В.П. Петров, С.А. Токарева // *Строительные материалы*. – 2011. – №12. – С. 46–50.
13. ГОСТ 9758-2012. Заполнители пористые неорганические для строительных работ. Методы испытаний. – М., 2012.
14. Лесовик, Р.В. Повышение эффективности крупнопористого керамзитобетона за счет использования композиционных вяжущих из техногенного сырья различной природы / М.С. Агеева, Г.А. Лесовик, Г.Г. Богусевич, С.М., Шаповалов, Д.М. Сопин // *Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова*. – 2016. – №11. – С. 58–62.

References

1. Ivanov-Dyatlov, I.G. High-strength expanded clay concrete and its application in bridges and hydraulic structures / I.G. Ivanov-Dyatlov // *Concrete and reinforced concrete*. – No. 4. – 1964. – P. 11–16.
2. Buzevich, G.A. Lightweight concrete on porous aggregates / G.A. Buzevich. – M.: Stroyizdat, 1970. – 272 p.
3. Onatsky, S.P. Production of expanded clay / S.P. Onatsky. – M.: Stroyizdat, 1971 – 312c.
4. Simonov, M.Z. Fundamentals of the technology of lightweight concrete / M.Z. Simonov. – M.: Stroizdat, 1973. – 584 p.
5. Ivanov, I. A. Technology of light concrete on artificial porous aggregates / I.A. Ivanov. – M.: Stroyizdat, 1974. – 287 p.
6. Guide for the selection of compounds of structural lightweight concrete with porous aggregates. – M.: Stroizdat, 1975. – 60 p.
7. Makridin, N.I. Physical and mechanical properties of expanded clay gravel grains under axial tension / N.I. Makridin, V.L. Khvastunov // *Construction materials*. – 1976. – No. 8. – P. 27–28.
8. Makridin, N.I. Mechanical properties of expanded clay gravel under axial compression / N.I. Makridin, V.A. Tyapkin // *Construction materials*. – 1977. – No. 9. – P. 26–28.
9. Petrov, V.P. Physical and chemical bases and raw materials for the production of high-strength porous aggregates / V.P. Petrov // *Construction materials*. – 2005. – No. 8. – P. 28–30.
10. Zvezdov, A.I. High-strength light concrete in construction and architecture / A.I. Zvezdov, V.R. Falikman // *Housing construction*. – 2008. – No. № 7. – P. 2–7.
11. Gorin, V.M. Effective expanded clay concrete in Russia / V.M. Gorin, S.L. Tokareva, M.K. Kabanova // *Construction materials*. – 2009. – No. 9. – P. 54–57.
12. Petrov, V.P. Porous aggregates from industrial waste / V.P. Petrov, S.A. Tokareva // *Construction materials*. – 2011. – No. 12. – P. 46–50.
13. GOST 9758-2012. Porous inorganic aggregates for construction works. Test methods. – M., 2012.
14. Lesovik, R.V. Improving the efficiency of large-pore expanded clay concrete through the use of composite binders from technogenic raw materials of various nature / M.S. Ageeva, G.A. Lesovik, G.G. Bogusevich, S.M. Shapovalov, D.M. Sopin // *Bulletin of the Belgorod State Technological University named after V. G. Shukhov*. – 2016. – No. 11. – P. 58–62.

СТАНДАРТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ

STANDARDIZATION AND QUALITY MANAGEMENT

УДК 658.5:005

*Пензенский государственный университет
архитектуры и строительства*

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

Баукова Наталья Сергеевна,
магистрант

E-mail: rabota-penza89@mail.ru

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

E-mail: maksimovain@mail.ru

*Penza State University of Architecture
and Construction*

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

Baukova Natalya Sergeevna,
Undergraduate student

E-mail: rabota-penza89@mail.ru

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

E-mail: maksimovain@mail.ru

РАЗРАБОТКА СТРУКТУРНОЙ СХЕМЫ ПРОЦЕССА «УПРАВЛЕНИЕ СРЕДСТВАМИ ИЗМЕРЕНИЯ» ДЛЯ ПРЕДПРИЯТИЙ НЕФТЕХИМИЧЕСКОЙ И НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Н.С. Баукова, И.Н. Максимова

Приведены примеры разработанных процессов системы менеджмента качества, присущих предприятиям нефтехимической и нефтегазовой отраслей промышленности. Описаны структурная схема и детализация процесса «Управление средствами измерения».

Ключевые слова: системы менеджмента качества, процессный подход, управление средствами измерения

STRUCTURAL SCHEME «MEASUREMENT MANAGEMENT» FOR ENTERPRISES OF PETROCHEMICAL AND OIL AND GAS INDUSTRIES

N.S. Baukova, I.N. Maksimova

Developed and presented examples of processes of the quality management system inherent in enterprises of petrochemical and oil and gas industries. Description and detailing of the process «Management of measuring instruments» are presented. The block diagram of the process «Management of measuring instruments» is given.

Keywords: quality management systems, process approach, management of measuring instruments

На сегодняшний день внедрение системы менеджмента качества (СМК) на основе международных стандартов ИСО серии 9000 становится насущной необходимостью. Наличие сертифицированной СМК требуют все заинтересованные стороны (стейкхолдеры): заказчики, инвесторы, государственные и надзорные органы, рассматривающие СМК как гарантию получения высококачественной, конкурентоспособной и безопасной продукции. Предприятия-производители емкостного, теплообменного и колонного оборудования для нефтехимической и нефтегазовой отраслей промышленности также заинтересованы в создании СМК, позволяющей им совершенствовать производство, проводить успешные тендеры, повышать результативность и эффективность своей деятельности.

СМК базируется на основополагающих принципах менеджмента качества, в т.ч. «процессном подходе», и является одним из эффективных инструментов менеджмента, дающим уверенность руководству компании и заинтересованным сторонам (стейкхолдерам), что организация способна поставлять продукцию установленного качества в требуемом количестве и за определенный временной период. Процесс СМК – это процесс, которому соответствует последовательность реально совершаемых и логически законченных действий и который является составной частью СМК организации [1].

Стандарт ГОСТ Р ИСО 9001-2015 [2] не регламентирует обязательное количество процессов СМК, каждая организация их устанавливает самостоятельно, исходя из специфики производства.

Рассмотрим совокупность процессов СМК, разработанных с участием авторов и характерных для предприятий нефтехимической и нефтегазовой отраслей промышленности.

К *основным процессам* отнесены: а) процесс взаимодействия с потребителем (который включает в себя процесс изучения и оценки удовлетворенности потребителя); б) процесс планирования и контроля исполнения заказа; в) процесс управления конструкторско-технологической подготовкой производства; г) процесс управления закупками сырья, материалов, комплектующих изделий; д) процесс изготовления оснастки; е) процесс производства, в котором выделены процесс управления сваркой и процесс окраски изделия; ж) процесс сохранения продукции и отгрузки потребителю.

Процессы управления – это процесс правового обеспечения; процесс стратегического планирования; процесс анализа со стороны руководства.

К *поддерживающим процессам* относятся: а) процесс управления инфраструктурой и производственной средой, включающий такие ресурсные процессы, как процессы управления технологическим оборудованием, зданиями и сооружениями, энергетическим оборудованием, средствами измерений, испытательным оборудованием, сварочным оборудованием, производственной средой; б) процесс управления персоналом, включающий процесс мотивации персонала; в) процесс управления финансовыми ресурсами; г) процесс управления качеством, в состав которого входят процессы мониторинга и измерения продукции.

С целью поддержания всех процессов СМК в работоспособном состоянии руководством организации выделяются необходимые ресурсы, группа управления качеством и структурные подразделения организации предоставляют необходимую информацию, осуществляют мониторинг процессов, измеряют результаты, ответственные за функционирование процесса выполняют анализ результатов с целью дальнейшего улучшения процессов [3].

В рамках данного исследования произвели разработку на предприятии поддерживающего процесса «Управление средствами измерения (СИ)», для которого выделили следующие подпроцессы: а) проверка наличия СИ и выдачи заявок на приобретение отсутствующих средств измерений; б) приобретение СИ и комплектующих к ним; в) поддержание СИ в рабочем состоянии; г) оплата поверки и ремонта СИ; д) эксплуатация СИ.

Данные подпроцессы имеют основную цель, владельца, управляющего ресурсами и отвечающего за исполнение подпроцесса, входы, выходы, являющиеся входами для других процессов, ресурсы и систему показателей и критериев оценки подпроцесса.

Наглядное представление о процессе «Управление средствами измерения» дает таблица.

Описание процесса «Управление средствами измерения»

| Процесс «Управление средствами измерений» | |
|---|--|
| Владелец процесса – руководитель метрологической службы организации | Время, место осуществления процесса: Постоянно |
| Участники процесса: подразделения предприятия – владельцы СИ, бухгалтерия, отдел материально-технического обеспечения (ОМТО), отдел технического контроля (ОТК) | |
| Процессы, с которыми осуществляется взаимодействие | |
| На входе процесса | На выходе процесса |
| Процесс контроля и исполнения заказа | Процесс производства |
| Процесс управления конструкторско-технологической подготовкой производства | Процесс управления сваркой Процесс окраски изделия |
| Документы | |
| Поступающие на вход процесса | Передаваемые на выходе процесса |
| Потребность в СИ (ведомость стандартного и режущего и мерительного инструмента, запросы) | Приобретенные СИ |
| Конструкторская и технологическая документация на метрологическую экспертизу | Конструкторская и технологическая документация, прошедшая метрологическую экспертизу |
| Приказ, акт о проведении инвентаризации СИ | Общий Перечень СИ на планируемый год Выписки из Перечня СИ, направляемые в подразделения Перечень СИ в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений (ГР ОЕИ) График поверки СИ в сфере ГР ОЕИ на планируемый год |
| СИ на поверку/калибровку | СИ, прошедшие поверку/калибровку Сертификат о калибровке, Свидетельство о поверке |
| Подпроцессы процесса «Управление средствами измерения» | |
| 1. Проверка наличия средств измерений и выдачи заявок на приобретение отсутствующих средств измерений | |
| 1.1. Входы подпроцесса | 1.2. Выходы подпроцесса |
| Ведомости СИ, составляемые на каждый заказ – от технологической группы Запрос о наличии СИ – из подразделений завода (для собственных нужд) Информация о получаемых СИ – от подразделений | Заявки на приобретение отсутствующих СИ на заказ – в ОМТО Заявки на приобретение отсутствующих СИ для собственных нужд – в ОМТО Информация о наличии СИ – в подразделении |
| 1.3. Критерий подпроцесса | |
| Наименование | Значение |
| Отсутствие случаев обнаружения СИ, необходимых для производства, но не заложенных в ведомостях СИ от технологической группы | 0 |

| 2. Приобретение средств измерений и комплектующих к ним | |
|---|--|
| 2.1. Входы подпроцесса | 2.2. Выходы подпроцесса |
| Заявки на приобретение СИ, согласованные с метрологической службой – от подразделений Ведомости СИ – от технологической группы Заявки на СИ для собственных нужд – от метрологической группы | Приобретенные СИ и комплектующие к ним – в подразделения |
| 2.3. Критерий подпроцесса | |
| Наименование | Значение |
| Отсутствие неудовлетворенных в срок заявок на приобретение СИ | 0 |
| 3. Поддержание средств измерений в рабочем состоянии | |
| 3.1. Входы подпроцесса | 3.2. Выходы подпроцесса |
| СИ на поверку (калибровку) – от подразделений Счета на оплату поверки (калибровки) СИ – от организаций, осуществляющих поверку (калибровку) СИ Отремонтированные СИ – от организаций, осуществляющих ремонт СИ Поверенные СИ и СИ, прошедшие калибровку – из организаций, осуществляющих поверку (калибровку) СИ | Графики поверки СИ – в организации, осуществляющие поверку Счета на оплату поверки (калибровки) СИ – в бухгалтерию СИ на поверку (калибровку) – в организации, осуществляющие поверку (калибровку) СИ на ремонт – в организации, осуществляющие ремонт СИ Годные СИ – в подразделения Месячный план расходов денежных средств – в бухгалтерию Годовой план расходов денежных средств – в бухгалтерию |
| 3.3. Критерий подпроцесса | |
| Наименование | Значение |
| Отсутствие претензий к метрологической службе со стороны подразделений по обеспечению годными СИ | 0 |
| 4. Оплата поверки и ремонта средств измерений | |
| 4.1. Входы подпроцесса | 4.2. Выходы подпроцесса |
| План расхода денежных средств на месяц (год) – от метрологической службы Счета на оплату поверки (калибровки) и ремонта СИ – от метрологической службы | Денежные средства в соответствии со счетами (оплата счетов) – в организации, осуществляющие поверку и ремонт СИ |
| 4.3. Критерий подпроцесса | |
| Наименование | Значение |
| Процент своевременно оплаченных сумм по счетам по отношению к запрашиваемым суммам в рамках утвержденного месячного плана расходов денежных средств | 100 |

| 5. Эксплуатации СИ | |
|--|---|
| 5.1. Входы подпроцесса | 5.2. Выходы подпроцесса |
| Предписание на предъявление СИ на метрологический контроль в текущем месяце – от метрологической службы Приобретенные СИ и комплектующие к ним – со складов ОМТО Годные СИ – от метрологической службы | Запрос о наличии СИ – в метрологическую службу Заявки на СИ и комплектующие к ним – в ОМТО Информация о получаемых СИ – в метрологическую службу СИ на метрологический контроль – в метрологическую службу |
| 5.3. Критерий подпроцесса | |
| Наименование | Значение |
| Процент предъявления СИ подразделением на метрологический контроль. Определяется как процентное отношение количества СИ подразделения, прошедших поверку (калибровку), к суммарному количеству СИ, которые должны быть предъявлены на поверку (калибровку) в рассматриваемом периоде | 98,0 |

Процесс «Управление средствами измерений» начинается с определения потребности в средствах измерения. Затем СИ, заложенные в ведомость стандартного и режущего и мерительного инструмента, приобретаются ОМТО и подлежат двум видам учета: материальному – бухгалтерией предприятия и метрологическому – метрологической службой предприятия с целью:

- максимального использования их технических возможностей;
- оперативного обеспечения разработки и производства необходимыми СИ;
- обеспечения их сохранности;
- контроля своевременности поверки (калибровки) СИ.

Для обеспечения учета и надзора за состоянием СИ инженер по метрологии метрологической службы ежегодно разрабатывает перечни всех эксплуатируемых на предприятии СИ с указанием их наименования, типа, заводского номера и метрологических характеристик [4].

Каждая единица СИ, находящаяся в эксплуатации или на хранении, подлежит идентификации. Содержанием идентификации являются индивидуальный заводской и инвентарный номера.

При получении СИ из инструментальной кладовой в пользование каждый работник должен удостовериться в его исправности, укомплектованности штатными принадлежностями. Работник обязан проверить наличие маркировки, удостоверяющей статус поверки (калибровки) или метрологического контроля.

СИ должны содержаться в чистоте, не иметь видимых повреждений.

СИ, находящиеся в эксплуатации, должны быть разложены на рабочем месте или в инструментальном ящике в порядке, исключающем их повреждение, при этом неиспользуемые СИ должны быть в футлярах, чехлах и т.п.

При использовании необходимо предохранять СИ от абразивной пыли, стружки, жидкостей и других неблагоприятных воздействий, которые могут вызвать повреждение СИ или повлиять на результаты измерений или допускового контроля.

Не допускается использование СИ, не прошедших поверку (калибровку). Использование СИ должно осуществляться в специально отведенном месте, защищенном от воздействия окружающей среды, в заданном состоянии. Условия хранения СИ должны обеспечить их сохранность и исправность. При длительном (более гарантийного

требованиями стандарта ГОСТ Р ИСО 9001-2015, что обеспечивает благоприятные условия для выпуска качественной, конкурентоспособной и безопасной продукции, а также совершенствования качества разрабатываемого и выпускаемого емкостного, теплообменного и колонного оборудования для нефтехимической и нефтегазовой отраслей промышленности.

Список литературы

1. ГОСТ Р ИСО 9000-2015. Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь. – М., 2015.
2. ГОСТ Р ИСО 9001-2015. Системы менеджмента качества. Требования. – М., 2015.
3. Баукова, Н.С. Методика оценки степени соответствия деятельности подразделений предприятия требованиям документированных процедур системы менеджмента качества / Н.С. Баукова, И.Н. Максимова // Вестник ПГУАС: строительство, наука и образование. – 2020. – №1 (10). – С. 9–13.
4. ГОСТ Р 8.884-2015. Государственная система обеспечения единства измерений. Метрологический надзор, осуществляемый метрологическими службами юридических лиц. Основные положения. – М., 2015.
5. ГОСТ Р 8.674-2009. Государственная система обеспечения единства измерений. Общие требования к средствам измерений и техническим системам и устройствам с измерительными функциями. – М., 2009.

References

1. GOST R ISO 9000-2015. Quality management systems. Fundamentals and vocabulary. – M., 2015.
2. GOST R ISO 9001-2015. Quality management systems. Requirements. – M., 2015.
3. Baukova, N.S. Methodology for assessing the degree of compliance of the activities of the enterprise units with the requirements of the documented procedures of the quality management system / N.S. Baukova, I.N. Maksimova // Bulletin of PGUAS: Construction, Science and Education. – 2020. – No.1 (10). – P. 9–13.
4. GOST R 8.884-2015. State system for ensuring the uniformity of measurements. Metrological supervision carried out by the metrological services of legal entities. Basic Provisions. – M., 2015.
5. GOST R 8.674-2009. State system for ensuring uniformity of measurements. General requirements for measuring instruments and technical systems and devices with measuring functions. – M., 2009.

ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

PEDAGOGICAL SCIENCES

УДК 004.6

*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

Глумскова Ирина Олеговна,
студент
E-mail: pochta.2.3@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

Glumskova Irina Olegovna,
Student
E-mail: pochta.2.3@mail.ru

ОБ ОСОБЕННОСТЯХ ПРИМЕНЕНИЯ ОПЕРАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ASTRA LINUX

В.В. Кузина, И.О. Глумскова

Рассматриваются вопросы перехода на российское программное обеспечение. Приводится сравнительный анализ операционных систем Windows, Mac OS и Astra Linux. Описываются операционная система Astra Linux и возможности ее применения в вузе.

Ключевые слова: операционная система, Astra Linux Special Edition, Astra Linux Common Edition

FEATURES OF USING ASTRA LINUX OPERATING SYSTEM

V.V. Kuzina, I.O. Glumskova

Issues of transition to Russian software are considered. A comparative analysis of Windows, Mac OS, and Astra Linux operating systems is provided. The article describes Astra Linux operating system and its application in higher education.

Keywords: operating system, Astra Linux Special Edition, Astra Linux Common Edition

В рамках проводимой Правительством Российской Федерации программы импортозамещения, направленной в первую очередь на развитие ИТ-отрасли и обеспечение технологической независимости России, переход на российское программное обеспечение становится актуальной задачей во всех отраслях экономики, в том числе в работе вузов, имеющих направления подготовки ИТ-специалистов. Кроме того, необходимость применения отечественных операционных систем в информационных структурах государственных и силовых ведомств, в коммерческих организациях, а также обычными пользователями компьютеров обусловлена требованиями информационной безопасности.

Рассмотрим операционную систему Astra Linux, разработка которой началась в 2008 году акционерным обществом «НПО РусБИТех», а в 2013 году она была принята на снабжение Минобороны России.

Astra Linux представляет собой ОС специального назначения на базе ядра Linux, которая создана для комплексной защиты информации и построения защищённых автоматизированных систем. Система работает с пакетами на базе «deb» и является официальной веткой дистрибутива Debian – операционной системы, состоящей из свободного программного обеспечения с открытым исходным кодом.

Сегодня существуют две версии Astra Linux – Common Edition и Special Edition.

Astra Linux Special Edition – операционная система специального назначения, сертифицированная ФСБ, Минобороны и ФСТЭК России, позволяющая обрабатывать информацию ограниченного доступа, вплоть до степени секретности «совершенно секретно», в автоматизированных системах министерств, ведомств и компаний с повышенными требованиями к информационной безопасности. Special Edition включена в стандарты российского государственного холдинга «Росатом», объединяющего более 400 предприятий атомной отрасли, государственной корпорации «Ростех», в составе которой более 700 организаций, принята на снабжение Вооруженных Сил Российской Федерации и активно внедряется в органы государственного управления, ведомства и госкорпорации.

Astra Linux Common Edition – операционная система общего назначения и предназначена для малого или среднего бизнеса и образовательных учреждений. Common Edition включена в единый реестр российских программ для электронно-вычислительных машин и баз данных Минкомсвязи России, широко применяется в целях обеспечения защиты и сохранения информации в информационных системах и автоматизированных системах управления.

В 2018 году приказом Министерства цифрового развития, связи и массовых коммуникаций РФ утверждены методические рекомендации по переходу органов исполнительной власти субъектов РФ и органов местного самоуправления муниципальных образований РФ на использование отечественного офисного программного обеспечения (ПО), в том числе ранее закупленного офисного ПО. Согласно рекомендациям, в 2020 году не менее 60 % операционных систем, используемых в органах исполнительной власти субъектов Российской Федерации, и 50 % – для органов местного самоуправления муниципальных образований, должны быть отечественными.

Процесс перехода осуществляется следующим образом.

В 2018 году военные приняли решение об отказе от Windows в пользу Astra; 30 сентября 2020 г. – Центр медицины катастроф Иркутской области переходит на Astra; 21 октября 2020 г. – Управление Государственной противопожарной службы Республики Марий Эл переходит на Astra. МВД России закупило 31 тысячу лицензий ОС Astra Linux, а Росгвардия – 50 тысяч.

Приведем рекомендации по параметрам аппаратной платформы для Astra Linux (см. таблицу).

| Параметр | Минимальные значения (подразумевается работа: <ul style="list-style-type: none">• без рабочего стола Fly• без графических приложений• без большой нагрузки) | Рекомендованные значения (подразумевается работа: <ul style="list-style-type: none">• с рабочим столом Fly• с графическими приложениями• с высоконагруженными приложениями |
|---|---|--|
| Аппаратная платформа | Процессор с архитектурой x86-64 (AMD, Intel) | |
| Оперативная память | Не менее 1 ГБ | От 4 ГБ |
| Объем свободного дискового пространства | Не менее 4 ГБ | От 16 ГБ |
| Монитор | Допускается работа в безмониторном режиме | Стандартный монитор SVGA |

Для многих пользователей ПК вопрос выбора операционной системы на данном этапе становится актуальным:

Остановить выбор на распространенной, но очень требовательной и не позволяющей полностью контролировать процесс Windows?

Отдать предпочтение востребованной у дизайнеров и фотографов, но привязанной к определенной технике Mac OS?

Или приобрести новую и непривычную Astra Linux?

Как для рядового пользователя, так и для многих государственных и коммерческих организаций немаловажным фактором является цена. Сравним ОС Astra Linux, Windows и Mac OS по ценовой категории.

Поскольку Astra Linux не привязана к определенным устройствам и её можно установить как на ПК, так и на мобильные устройства и планшеты, которые отвечают минимальным требованиям, то заплатить нужно будет только за лицензию.

Цена лицензионной версии Common Edition, обычного издания, составляет около 6 тыс. рублей. Это базовая версия без дополнительной защиты и предназначена в основном для учебных заведений.

Лицензия Special Edition, модификация простой версии, разработанная для защиты данных уровня «совершенно секретно» и работы с автоматизированными системами, стоит от 14,5 тыс. рублей на сайтах официальных партнеров.

Официальная ОС Windows в базовой версии стоит около 15 тыс. рублей, а PRO-версия, которая включает в себя все, что доступно для версии Home, а также другие функции для подключения рабочей станции к корпоративной сети, удаленной работы, защиты данных корпоративного уровня, повышенной безопасности, будет стоить уже от 25 тыс. рублей.

Официальную версию Mac OS отдельно приобрести нельзя, а только вместе с покупкой техники от Apple с предустановленной системой. Таким образом, для использования Mac OS минимально потребуется от 75 тыс. рублей за самый дешевый ноутбук.

Сравним эти операционные системы по наличию дополнительных программ.

Для работы с Windows существует большое количество программ, в том числе бесплатных, от различных разработчиков для решения всевозможных прикладных задач.

Программное обеспечение для Mac OS достаточно разработано, но бесплатных версий крайне мало, и могут возникать большие проблемы при их установке и дальнейшем использовании. А программы известных разработчиков, таких, как Adobe, имеют высокую стоимость.

В систему Astra Linux изначально включено несколько редакторов, которые не требуют дополнительной оплаты, как, например, пакет MS Office. Однако прикладных программ для данной ОС на порядок меньше, чем для других известных конкурентов. Хотя рынок программ для Linux активно расширяется, но все ещё есть шанс не найти необходимого решения.

При этом компании Microsoft и Apple запрещают вносить какие-либо изменения в рабочие коды своих ОС, в то время как Linux по-прежнему даёт такую возможность своим пользователям.

Система Mac OS обладает высокой безопасностью, поскольку техника Apple оснащена дополнительной защитой, и невозможно выполнить какие-либо действия без прямого разрешения пользователя.

В системе Windows часто происходят всевозможные утечки и внезапные исчезновения данных.

Система Astra Linux разрабатывалась специально для работы с засекреченной информацией и поэтому обладает на данный момент самым высоким порогом защиты личных данных. Кроме того, открытый код Linux позволяет контролировать абсолютно все процессы, происходящие в системе. Также в системах Linux существует множество расширений, с помощью которых можно улучшить внешний вид, в отличие от систем Windows и Mac OS, в которых предустановленный и единственный вид системы изменить полностью невозможно.

Выбор системы пользователем определяется в первую очередь перечнем решаемых задач. Безусловным приоритетом у профессиональных дизайнеров обладает техника

Apple с установленной Mac OS. Для рядового пользователя система Windows является наиболее привычной.

Система Linux пользуется спросом у разработчиков, так как она менее требовательна к компьютерному «железу» и имеет открытый код.

В результате сравнения трех операционных систем можно сделать вывод, что Astra Linux имеет более высокую защиту данных, является удобной для разработчиков и имеет сравнительно низкую стоимость. К тому же это российская ОС и не имеет проблем с русификацией. Дополнительного программного обеспечения на данный момент не так много, но это вопрос времени.

Компания «Astra Linux», разработчик одноименной отечественной операционной системы, активно внедряет ее в различные сферы экономики. Например, по итогам 2019 г. фирма-разработчик поставила почти 24 тыс. лицензий на свою фирменную ОС в российские медицинские учреждения.

ГК «Astra Linux» объявила специальные условия лицензирования ОС Astra Linux для образовательных организаций. Специальная программа направлена на оснащение компьютерных классов образовательных учреждений операционной системой Astra Linux с целью организации обучения по дисциплинам и курсам, связанным с использованием на практике операционных систем семейства Astra Linux. Для создания учебных классов осуществляется безвозмездная передача неисключительного права на операционную систему. Службой технической поддержки оказывается содействие в вопросах установки и настройки операционной системы.

Операционная система предоставляется путем подписания соглашения о конфиденциальности и заключения лицензионного договора с передачей неисключительного права ее использования на ограниченном количестве ЭВМ. Сам экземпляр операционной системы будет передан в товарной упаковке, в состав которой входят установочный диск и диск с эксплуатационной документацией.

Для образовательных организаций, участвующих в специальной программе, действуют специальные скидки на приобретение лицензионного программного обеспечения (операционная система «Astra Linux» для образовательных организаций версии Special Edition или Common Edition) в рамках лицензирования по академической программе. Организуется обучение профессорско-преподавательского состава на базе учебных центров компании-разработчика.

Вследствие вышесказанного можно предположить, что переход вузов на российские операционные системы может произойти в ближайшем будущем в кратчайшие сроки.

Список литературы

1. <https://www.academyit.ru/deals/activity/events/importozameshchenie-os-astra-linux-osobennosti-perekhoda-tekhnicheskije-i-organizatsionnye-voprosy/> Академия АйТи.
2. <https://astralinux.ru/education/universities/>
3. <https://www.microsoft.com/ru-ru/windows/compare-windows-10-home-vs-pro>
4. <https://www.apple.com/ru/macOS/what-is/>

References

1. <https://www.academyit.ru/deals/activity/events/importozameshchenie-os-astra-linux-osobennosti-perekhoda-tekhnicheskije-i-organizatsionnye-voprosy/> IT Academy.
2. <https://astralinux.ru/education/universities/>
3. <https://www.microsoft.com/ru-ru/windows/compare-windows-10-home-vs-pro>
4. <https://www.apple.com/ru/macOS/what-is/>

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

Пышкина Ирина Сергеевна,
кандидат технических наук, доцент кафедры
«Информационно-вычислительные системы»
E-mail: glazycheese@gmail.com

Рыжов Антон Дмитриевич,
ассистент кафедры «Информационно-
вычислительные системы»
E-mail: penza48@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

Pyshkina Irina Sergeevna,
Candidate of Sciences, Associate Professor of the
department «Information and Computing
Systems»
E-mail: glazycheese@gmail.com

Ryzhov Anton Dmitrievich,
Assistant of the department «Information and
Computing Systems»
E-mail: penza48@yandex.ru

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО СРЕДСТВА СОВМЕСТНОГО РЕДАКТИРОВАНИЯ ТЕКСТА

И.С. Пышкина, А.Д. Рыжов

Представлена диаграмма вариантов использования разрабатываемого программного средства. Диаграммы состояний наглядно иллюстрируют динамические особенности работы предлагаемого программного средства.

Ключевые слова: программное средство, совместное редактирование документов, клиент-серверная архитектура, UML-диаграмма

DEVELOPMENT OF A COLLABORATIVE TEXT EDITING SOFTWARE

I.S. Pyshkina, A.D. Ryzhov

The diagram of options for using cases the developed software tool is presented. The state diagrams clearly illustrates the dynamic features of the proposed software tool.

Keywords: software tool, collaborative document editing, client-server architecture, UML diagram

Современные операционные системы (ОС) нацелены на эффективное использование ресурсов компьютера. По большей части эффективность достигается за счет разделения ресурсов компьютера между несколькими процессами (многозадачность). Такое крупномасштабное разделение ресурсов обеспечивается операционными системами без каких-либо действий со стороны приложений или процессов. Процессы могут выполняться одновременно за счет переключения центрального процессора (или нескольких процессоров) между ними. Последние версии ОС предоставляют механизмы, позволяющие приложениям управлять ресурсами компьютера и распределять их с большей степенью детализации, т.е. на уровне потоков. По аналогии с многозадачными операционными системами, которые могут одновременно выполнять несколько задач путем запуска нескольких процессов, процесс может, в свою очередь, выполнять несколько задач за счет использования нескольких потоков [1, 2].

Целью распараллеливания, как и большинства методов программирования, является оптимальное использование системных ресурсов. Параллельная обработка повышает сложность проектирования, тестирования и сопровождения программ, обеспечивая при этом увеличение пропускной способности приложений на одно- и многопроцессорных компьютерах. Многопоточность представляет собой значительный шаг вперед по сравнению с временами, когда параллельная обработка осуществлялась путем взаимодействия процессов. За счет распараллеливания сложность разработки ПО может быть несколько снижена, особенно в отношении взаимодей-

ствия процессов. В то же время распараллеливание приложения может привести в программу ошибки, которые трудно обнаружить и воспроизвести [3].

Разработанное программное средство совместного редактирования текста предлагается проиллюстрировать набором UML-диаграмм, что является общепризнанным стандартом описания архитектуры программного средства при проектировании [4, 5].

Далее на рис. 1 представлена диаграмма вариантов использования. Эта диаграмма, как правило, создается одной из первых, так как она описывает разрабатываемое ПО на концептуальном уровне и отображает возможные сценарии (или прецеденты) использования разрабатываемого ПО.

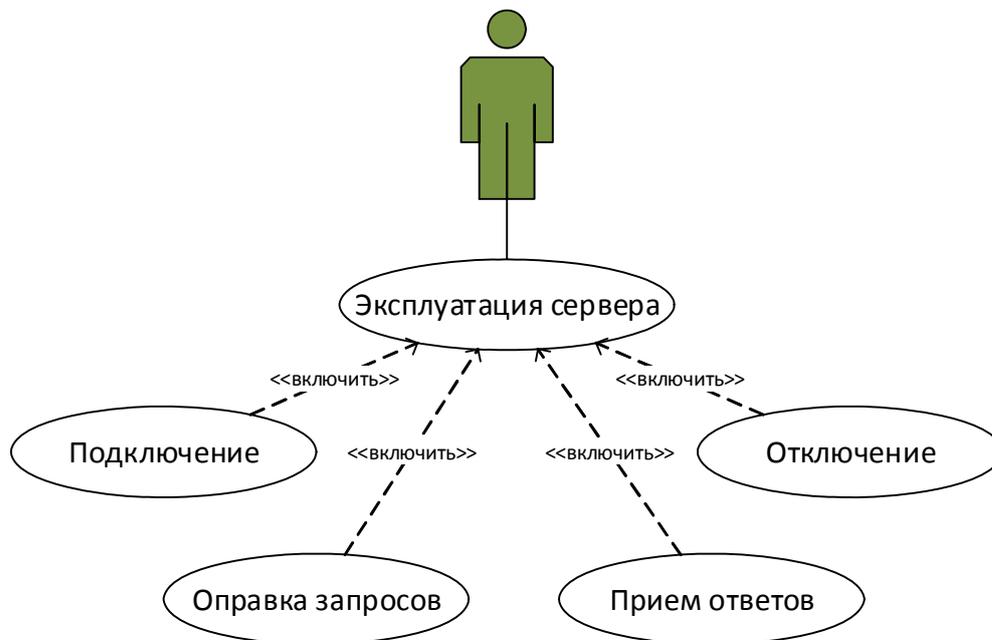


Рис. 1. Диаграмма вариантов использования

На представленной диаграмме изображены следующие прецеденты: подключение, отправка запросов, прием ответов, отключение. Прецеденты связаны отношениями включения с пользователем.

Пользователь занимается эксплуатацией сервера. Он может подключиться к серверу, отправлять серверу запросы, получать ответы от сервера, отключиться от сервера.

Диаграмма вариантов использования наглядно описывает те возможности, которые разрабатываемое приложение должно предлагать пользователю, и теперь можно последовательно перейти к более детализированному описанию.

Рис. 2 и 3 наглядно иллюстрируют динамические особенности работы разрабатываемого программного средства, это диаграмма состояний.

Процесс начинается с начальной точки, затем возможен переход в состояние инициализации, а затем происходит подключение клиентов. В каждом потоке клиента сервер ожидает запрос и выполняет все необходимые действия (см. рис. 2).

Диаграмма действий для варианта использования «Отправка запроса» представлена на рис. 3.

Действия начинаются с запуска пользователем клиентского приложения, в котором вводится IP-адрес сервера. После чего клиент может отправлять запросы серверу (взаимодействовать с ним). В нашем случае отправляется запрос, получающий список документов с сервера.

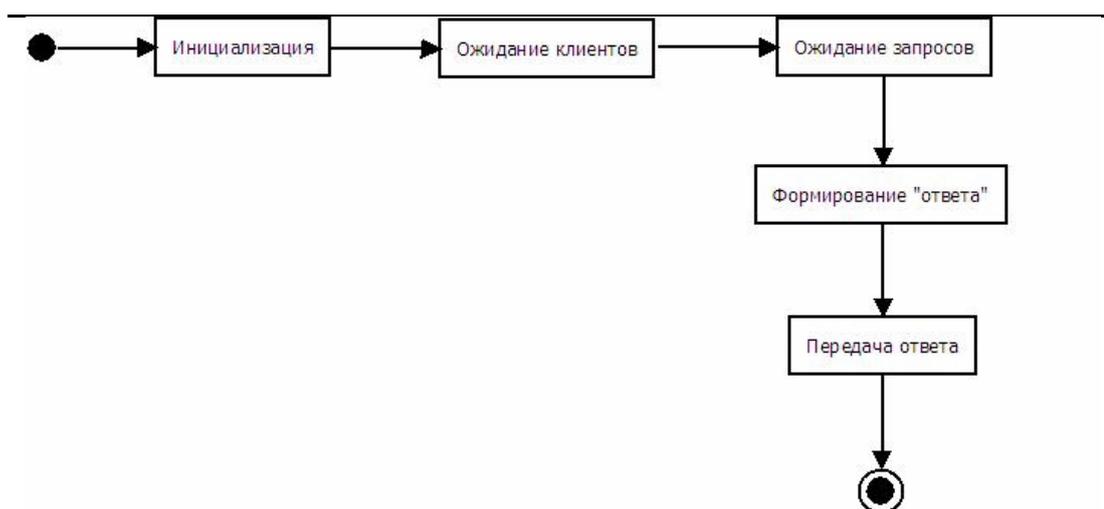


Рис. 2. Диаграмма состояний сервера

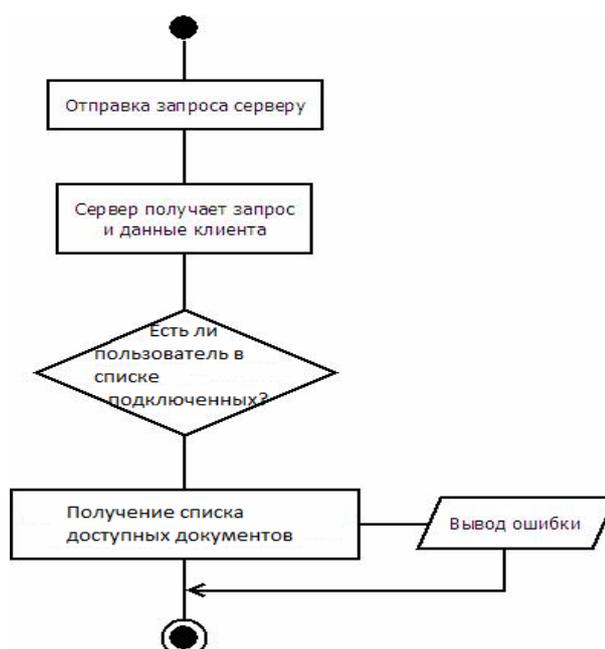


Рис. 3. Диаграмма состояний для варианта использования «Отправка запроса»

Таким образом, разработано программное средство совместного редактирования документа, позволяющее редактировать один документ нескольким пользователям одновременно, при этом сервер обеспечивает разделение доступа к файлу. Разработанная система программ функционирует на основе клиент-серверной архитектуры. Сервер обрабатывает запросы клиентов и выступает хранилищем файлов. Клиент, подключившись к серверу, может создавать, удалять и редактировать документы. При редактировании одного документа несколькими пользователями сразу сервер обеспечивает разделение доступа к файлу, который в данном случае является критическим ресурсом.

Список литературы

1. Раздобудов, С.А. Исследование и анализ возможности реализации многопоточности при разработке ПО на языке С++ / С.А. Раздобудов, И.И. Сальников // Международный студенческий научный вестник. – 2018. – № 3 (часть 2).
2. Уильямс, Э. Параллельное программирование на С++ в действии. Практика разработки многопоточных программ / Э. Уильямс. – М.: ДМК Пресс, 2014. – 672 с.

-
3. Эндрюс, Г.Р. Основы многопоточного, параллельного и распределенного программирования / Г.Р. Эндрюс. – М.: Вильямс, 2003. – 512 с.
 4. Гамма, Э. Приемы объектно-ориентированного проектирования. Паттерны проектирования / Э. Гамма, Р. Хелм, Дж. Влиссидес. – М.: Питер, 2013. – 344 с.
 5. Ларман, К. Применение UML 2.0 и шаблонов проектирования / К. Ларман. – М.: Вильямс, 2013. – 736 с.

References

1. Razdobudov, S.A. Research and analysis of the possibility of implementing multithreading in software development in C ++ / S.A. Razdobudov, I.I. Salnikov // International student scientific bulletin. – 2018. – No. 3 (part 2)
2. Williams, E. Parallel Programming in C ++ in action. The practice of developing multi-threaded programs / E. Williams. – М.: DMK Press, 2014. – 672 p.
3. Andrews, G.R. Fundamentals of multithreaded, parallel and distributed programming / G.R. Andrews. – М.: Williams, 2003. – 512 p.
4. Gamma, E. Methods of object-oriented design. Design Patterns / E. Gamma, R. Helm, J. Vlissides. – М.: Peter, 2013. – 344 p.
5. Larman, K. Application of UML 2.0 and design patterns / K. Larman. – М.: Williams, 2013. – 736 p.