ISSN 2073-1523

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ

КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

МИНИСТЕРСТВО СТРОИТЕЛЬСТВА, АРХИТЕКТУРЫ
И ЖИЛИЩНО-КОММУНАЛЬНОГО ХОЗЯЙСТВА РТ

МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА И ДОРОЖНОГО ХОЗЯЙСТВА РТ

Известия КГАСУ

2021 г., № 2 (56)

ББК 38
И 33
УДК 69

Главный редактор: д-р техн. наук, проф. чл.-корр. АН РТ Р.К. Низамов
Зам. главного редактора: канд. техн. наук, доц. Е.А. Вдовин

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Айдарова Г.Н., д-р арх., проф. советник РААСН;
Гагарин В.Г., д-р техн. наук, проф. чл.-корр. РААСН;
Горячев М.Г., д-р техн. наук, проф.;
Есаулов Г.В., д-р арх., проф., академик РААСН;
Ильичев В.А., д-р техн. наук, проф., первый вице-президент РААСН;
Каюмов Р.А., д-р физ.-мат. наук, проф.;
Кичигин В.И., д-р техн. наук, проф.;
Королев Е.В., д-р техн. наук, проф.;
Кочев А.Г., д-р техн. наук, проф.;
Логачев К.И., д-р техн. наук, проф.;
Мирсаяпов Илизар Т., д-р техн. наук, проф.;
Мирсаяпов Ильшат Т., д-р техн. наук, проф.;
Стрелков А.К., д-р техн. наук, проф.;
Строганов В.Ф., д-р хим. наук, проф., почетный член РААСН;
Сулейманов А.М., д-р техн. наук, проф. чл.-корр. АН РТ;
Тунакова Ю.А., д-р хим. наук, проф.;
Углова Е.В., д-р техн. наук, проф.;
Хозин В.Г., д-р техн. наук, проф.;
Шагидуллин Р.Р., д-р хим. наук, чл.-корр. АН РТ;
Яковлев Г.И., д-р техн. наук, проф.

МЕЖДУНАРОДНЫЙ РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ:

Рольф Катценбах, д-р техн. наук, проф. (Германия);
Фиговский О.Л., д-р техн. наук, проф., член Европейской АН, иностранный член РААСН (Израиль);
Фишер Х.-Б., доктор-инженер (Германия);
Хассан Абдалла, д-р наук (PhD), проф. (Великобритания);
Янотка И., д-р техн. наук, с.н.с. (Словакия).

УЧРЕДИТЕЛЬ И ИЗДАТЕЛЬ:
ФГБОУ ВО «Казанский государственный архитектурно-строительный университет»

Журнал включен в Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, определяемый Высшей аттестационной комиссией (ВАК), рекомендованных для опубликования основных научных результатов диссертаций на соискание ученой степени доктора и кандидата наук. Статьи рецензируются. Перепечатка без разрешения редакции запрещена, ссылки на журнал при цитировании обязательны.

Зарегистрирован Федеральной службой по надзору за соблюдением законодательства в сфере массовых коммуникаций и охране культурного наследия (Свидетельство о регистрации ПИ № ФС77-25136 от 20 июля 2006 г.). Включен в общероссийский каталог ОАО Агентства «РОСПЕЧАТЬ», индекс издания – 36939.

АДРЕС РЕДАКЦИИ:
420043, г. Казань, ул. Зеленая, 1, ком. 79
Тел. (843) 510-46-39, факс (843) 238-37-71
E-mail: patent@kgasu.ru Сайт: http://izvestija.kgasu.ru

© Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета, 2021

ISSN 2073-1523

MINISTRY OF SCIENCE AND HIGHER EDUCATION
OF THE RUSSIAN FEDERATION

KAZAN STATE UNIVERSITY OF ARCHITECTURE AND ENGINEERING

MINISTRY OF CONSTRUCTION, ARCHITECTURE AND HOUSING
OF THE REPUBLIC OF TATARSTAN

MINISTRY OF TRANSPORT AND ROADS
OF THE REPUBLIC OF TATARSTAN

News of the KSUAE

2021, № 2 (56)

BBC 38
I 33
UDC 69

Editor-in-Chief: Dr. tech. sci., prof. corr.-m. AS RT Nizamov R.K.
Deputy Editor-in-Chief: Cand. tech. sci., associate prof. Vdovin E.A.

EDITORIAL BOARD:

Aidarova G.N. Dr. arch. sci., prof., advisor of RAACS;
Gagarin V.G., Dr. tech. sci., prof. corr.-m. of RAACS;
Goriachev M.G., Dr. tech. sci., prof.;
Esaulov G.V., Dr. arch. sci., prof., member of the Academy of RAACS;
Ilichev V.A., Dr. tech. sci., prof., First Vice President of RAACS;
Kayumov R.A., Dr. phys-mat. sci., prof.;
Kichigin V.I., Dr. tech. sci., prof.;
Korolev E.V., Dr. tech. sci., prof.;
Kochev A.G, Dr. tech. sci., prof.;
Logachev K.I., Dr. tech. sci., prof.;
Mirsayapov Ilizar T., Dr. tech. sci., prof.;
Mirsayapov Ilshat T., Dr. tech. sci., prof.;
Strelkov A.K., Dr. tech. sci., prof.;
Stroganov V.F., Dr. chem. sci., prof., honorary m. of RAACS;
Suleimanov A.M., Dr. tech. sci., prof. corr.-m. AS RT;
Tunakova Iu.A., Dr. chem. sci., prof.;
Uglova E.V., Dr. tech. sci., prof.;
Khozin V.G., Dr. tech. sci., prof.;
Shagidullin R.R., Dr. chem. sci., corr.-m. AS RT;
Iakovlev G.I., Dr. tech. sci., prof.

INTERNATIONAL EDITORIAL BOARD:

Rolf Katzenbach, Dr. tech. sci., prof. (Germany);
Figovskiy O.L., Dr. tech. sci., prof., member of EAS, foreign member of RAACS (Israel);
Fischer H.-B., Dr.-Ing (Germany);
Hassan Abdalla, PhD, prof. (Great Britain);
Janotka I., Dr. tech. sci., head of unit (Slovakia).

THE FOUNDER AND THE PUBLISHER:
FSBEI of HE «Kazan State University of Architecture and Engineering»

The journal is included in the index of leading reviewed scientific journals and editions, defined by the Higher Attestation Commission, and recommended for publication of basic scientific results of dissertations on scientific degree of the doctor and the candidate of sciences. The articles are reviewed. Reproduction without the permission of editors is prohibited; citing references to the journal are obligatory.

It is registered by Federal agency on surveillance of legislation observance in sphere of mass communications and cultural heritage protection (the certificate on registration PI № FS77-25136, dated July, 20th, 2006). It is included in the all-Russian catalogue of JSC «ROSPECHAT» Agency; subscription number 36939.

EDITORIAL ADDRESS:
420043, Kazan, Zelenaya 1, office 79
Tel. (843) 510-46-39, fax (843) 238-37-71
E-mail: patent@kgasu.ru Web-site: http://izvestija.kgasu.ru

© News of the Kazan State University of Architecture and Engineering, 2021

СОДЕРЖАНИЕ

ОСНОВАНИЯ И ФУНДАМЕНТЫ, ПОДЗЕМНЫЕ СООРУЖЕНИЯ	
Мирсаяпов Илизар Т. Несущая способность плитно-свайных фундаментов с учетом перераспределения усилий между сваями при циклическом нагружении	5
СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ	
Исламов А.М., Фахрутдинова В.Х., Абдрахманова Л.А., Закирова К.И. Поверхностная модификация поливинилхлорида водной коллоидной дисперсией графеновых нанопластинок	13
Литовченко Д.П., Ширяев А.О., Королев Е.В., Высоцкая М.А. Влияние совместимости полимера и пластификатора на показатели качества битумного вяжущего	22
Мухаметрахимов Р.Х., Лукманова Л.В. Влияние портландцементов с различным минералогическим составом на основные свойства композитов, сформованных методом послойного экструдирования (3D-печати)	37
Рахимова Н.Р., Рахимов Р.З. Влияние содержания добавок термоактивированной глины на свойства и состав продуктов твердения композиционного шлакощелочного вяжущего с низким содержанием щелочного активатора	50
Хозин В.Г., Хохряков О.В., Козлов Р.В. Экологический рейтинг «карбонатных» цементов низкой водопотребности и бетонов на их основе	60
ТЕХНОЛОГИЯ И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА	
Шаехов А.Ф., Коклюгина Л.А., Ибрагимов Р.А. Исследование влияния воздушных потоков на безопасность проведения грузоподъемных операций башенным краном	67
ВОДОСНАБЖЕНИЕ, КАНАЛИЗАЦИЯ, СТРОИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ОХРАНЫ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ	
Бусарев А.В., Селюгин А.С., Лисенков Р.А. Очистка нефтесодержащих сточных вод предприятий железнодорожного транспорта методом напорной флотации	76
ПРОЕКТИРОВАНИЕ И СТРОИТЕЛЬСТВО ДОРОГ, МЕТРОПОЛИТЕНОВ, АЭРОДРОМОВ, МОСТОВ И ТРАНСПОРТНЫХ ТОННЕЛЕЙ	
Зиннуров Т.А., Майстренко И.Ю., Ерохин Д.И., Замилова А.Х., Умаров Б.Ш. Исследование влияния утолщений в стеклопластиковой арматуре (АСК) на сцепление с бетоном	84
ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО, ПЛАНИРОВКА СЕЛЬСКИХ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ	
Гришина М.П., Толмачев А.Е., Сираева А.М., Орлова Н.Г. Анализ накопленного опыта по реконструкции промышленных территорий на примере городов Германии	94
Захарова Е.В., Дембич А.А., Сайфутдинова А.М. Воссоздание идентичности места при осуществлении градостроительной реконструкции на примере территории Ямской слободы, г. Казани	105
Латыпова Т.А. Классификация открытых пространств городской активности (на примере городских площадей г. Казани)	118
АРХИТЕКТУРА ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ. ТВОРЧЕСКИЕ КОНЦЕПЦИИ АРХИТЕКТУРНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ	
Акатьева А.О., Хабиров Р.И. Современные тенденции и принципы архитектурной организации центров паллиативной помощи	127
Гусева А.С., Ахтямов И.И., Ахтямова Р.Х. Система жилых модулей на крышах с комфортным распространением дневного света как эффективный метод реновации массового жилья	137
Нуреев Т.М., Попов А.О., Нуреева Д.Т. Методология создания жилой трёхлучевой объёмно-планировочной структуры	147
Петрова М.М., Хафизов Р.Р. Принципы формирования функциональной и архитектурно-планировочной структуры учреждений для детей-сирот	161
Правила представления материалов для публикации в научном журнале «Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета»	172

CONTENTS

FOUNDATIONS, UNDERGROUND STRUCTURES	
Mirsayapov Ilizar T. The load-bearing capacity of slab-pile foundations, taking into account the redistribution of forces between piles during cyclic loading	5
BUILDING MATERIALS AND PRODUCTS	
Islamov A.M., Fakhrutdinova V.K., Abdrakhmanova L.A., Zakirova K.I. Surface modification of PVC by aqueous colloidal dispersion of graphene nanoplates	13
Litovchenko D.P., Shiryaev A.O., Korolev E.V., Vysotskaya M.A. Influence of polymer and plasticizer compatibility on the quality indicators of bituminous binder	22
Mukhametrakhimov R.Kh., Lukmanova L.V. Influence of Portland cements with different mineralogical composition on basic properties of 3D-printed composites	37
Rakhimova N.R., Rakhimov R.Z. Influence of calcined clays additions on the composition of reaction products and properties of compositional alkali-activated slag cements with low content of alkali reactant	50
Khozin V.G., Khokhryakov O.V., Kozlov R.V. The environmental rating of «carbonate» cements is low water demand and concrete based on them	60
CONSTRUCTION TECHNOLOGY AND ORGANIZATION	
Shaehov A.F., Koklyugina L.A., Ibragimov R.A. Study of the influence of air flows on the safety of carrying out lifting operations by a tower crane	67
WATER SUPPLY, SEWERAGE, WATER CONSERVATION CONSTRUCTION	
Busarev A.V., Selyugin A.S., Lisenkov R.A. Oil-containing wastewater treatment of railway transport enterprises by pressure flotation method	76
ROADS, SUBWAYS, AIRPORTS, BRIDGES AND TUNNELS DESIGN AND CONSTRUCTION	
Zinnurov T.A., Majstrenko I.Yu., Erokhin D.I., Zamilova A.Kh., Umarov B.Sh. Investigation of the effect of thickenings in fiberglass reinforcement on adhesion to concrete	84
URBAN DEVELOPMENT, RURAL SETTLEMENTS PLANNING	
Grishina M.P., Tolmachev A.E., Siraeva A.M., Orlova N.G. Analysis of the accumulated experience in the reconstruction of industrial territories on the example of German cities	94
Zakharova E.V., Dembich A.A., Sayfutdinova A.M. Reconstruction of the identity of the place during the implementation of urban reconstruction (on the example of the territory of the Yamskaya Sloboda, Kazan)	105
Latypova T.A. Classification of open spaces of urban activity (on the example of urban squares in Kazan)	118
HOUSES ARCHITECTURE. THE CREATIVE CONCEPT OF ARCHITECTURAL ACTIVITIES	
Akatyeva A.O., Khabirov R.I. Modern trends and principles of the architectural organization of palliative care centers	127
Guseva A.S., Akhtiamov I.I., Akhtiamova R.Kh. The system of rooftop residential modules with comfortable daylight distribution as an effective method of mass housing renovation	137
Nureyev T.M., Popov A.O., Nureeva D.T. Methodology for creating a residential three-rayed space-planning structure	147
Petrova M.M., Khafizov R.R. Principles of formation of the functional and architectural-planning structure of institutions for orphans	161
Rules of representation of materials for the publication in scientific journal «Kazan State University of Architecture and Engineering news»	172

УДК 624.154

Мирсаяпов Илизар Талгатович
доктор технических наук, профессор
Email: mirsayapov1@mail.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет
Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1

Несущая способность плитно-свайных фундаментов с учетом перераспределения усилий между сваями при циклическом нагружении

Аннотация

Постановка задачи. Целью работы является исследование несущей способности плитно-свайного фундамента при циклическом нагружении с учетом перераспределения усилий между сваями. Несущая способность плитно-свайного фундамента при циклическом нагружении состоит из трех составляющих: свай, грунта под плитой и грунта под нижним концом свай. Осадка продавливания плитно-свайного фундамента существенно изменяет распределение нагрузок на сваи, особенно на крайние и угловые, которые перегружены. В данной статье этот процесс рассматривается в трехмерном режиме с учетом совместной деформации всех элементов системы «свайный ростверк – сваи – грунт между сваями – грунт ниже острия». Учитывается перераспределение усилий между элементами системы при циклическом нагружении за счет возникновения деформаций грунта, свайного ростверка и свай, в соответствующих условиях. Несущая способность плитно-свайного фундамента определяется на стадии, когда тангенциальные напряжения вдоль боковой поверхности отсутствуют в верхней и в средней части сваи в результате достижения предельного сопротивления сдвигу. Грунт продавливается под острием, когда напряжение под пятой сваи и под плитой превышает усталостную прочность и максимальные деформации грунта при трехосном циклическом сжатии.

Результаты. Проведены теоретические исследования. Рассмотрено перераспределение усилий между основными элементами плитно-свайного фундамента и изменение напряженно-деформированного состояния основания плитно-свайного фундамента при циклическом нагружении вследствие перераспределения усилий между угловыми, крайними и рядовыми сваями.

Выводы. Значимость полученных результатов для строительной отрасли состоит в том, что впервые предложенная методика позволяет оценить несущую способность плитно-свайного фундамента. Сравнение результатов расчетов для предложенной модели с экспериментальными исследованиями показало хорошую сходимость.

Ключевые слова: плитно-свайный фундамент, свая, осадка, грунт, циклическое нагружение.

Для цитирования: Мирсаяпов Илизар Т. Несущая способность плитно-свайных фундаментов с учетом перераспределения усилий между сваями при циклическом нагружении // Известия КГАСУ. 2021. № 2 (56). С. 5–12. DOI: 10.52409/20731523_2021_2_5.

1. Введение

В плитно-свайных фундаментах крайние и угловые сваи перегружены по сравнению со средними [1-5]. При этом усилия в угловых сваях до 4 раз больше, а в крайних – до 2 раз больше, чем в средних.

При циклическом нагружении происходит перераспределение усилий между сваями и окружающим грунтом межсвайного пространства [6-10]. Выполненные исследования показывают, что при нарастании циклов нагружения уменьшается предельное сопротивление грунта на сдвиг вдоль боковой поверхности сваи, что приводит к увеличению напряжения в грунте под пятой сваи и, как следствие, к увеличению деформаций и уменьшению усталостной прочности грунта под пятой сваи [11-14]. В случае если напряжение в грунте превышает предельное сопротивление грунта в трехосном напряженном состоянии в случае циклического нагружения, происходит

продавливание грунта под нижней плоскостью сваи и перемещение сваи в пределах условного фундамента. Тогда первым предельное состояние достигается под угловыми сваями и часть усилий передается на остальные сваи, догружая их, и на грунт под плитным ростверком, то есть перейти в предельное состояние по грунту ниже острия (если не жесткое соединение сваи с ростверком) и под плитным ростверком одновременно (если соединение сваи с плитным ростверком жёсткое). Затем предельное состояние достигается в крайних рядах свай, при этом происходит перераспределение усилий между угловыми и крайними сваями. После прокола крайними и угловыми сваями грунта условного фундамента под нижним концом эти сваи начинают перемещаться без увеличения нагрузки на них, что приводит к догружению средних рядовых свай и увеличению их вертикальных перемещений (осадок). Такие сваи называют ползучими. Этот процесс продолжается до тех пор, пока усилия между всеми сваями не выравниваются (не становятся одинаковыми).

Ползучесть крайних и угловых свай приводит к изменению распределения нагрузок на все сваи плитно-свайного фундамента. Для аналитического описания процесса перераспределения усилий между угловыми, крайними и рядовыми сваями плитно-свайного фундамента в процессе циклического нагружения, рассмотрим этот процесс в пространственной постановке с учетом совместного деформирования всех элементов системы за счет жесткого соединения сваи и плитного ростверка.

2. Материалы и методы

Ползучесть крайних и угловых свай существенно изменяет распределение нагрузок на все сваи плитно-свайного фундамента. Этот процесс рассматривается в пространственной постановке с учетом совместного деформирования всех элементов системы «плитный ростверк – сваи – грунт межсвайного пространства – грунт ниже острия сваи» за счет жесткого соединения сваи и плитного ростверка (рис. 1).

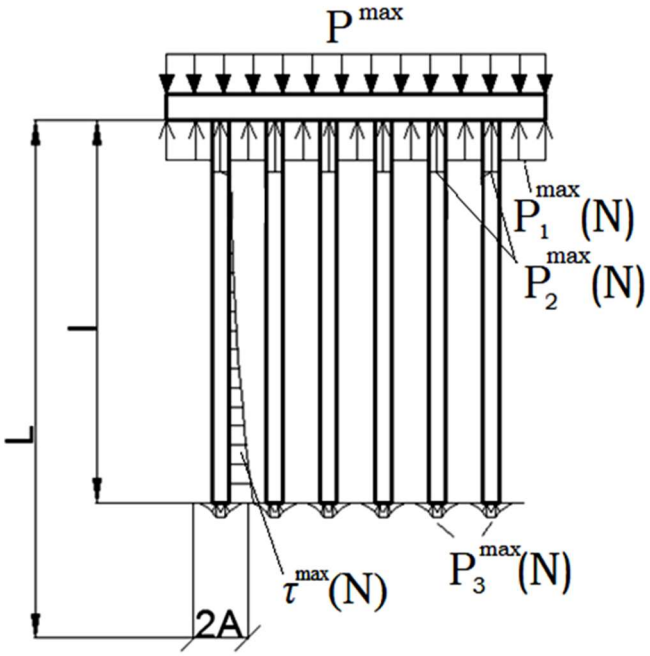


Рис. 1. Расчетная схема плитно-свайного фундамента при циклическом нагружении (иллюстрация авторов)

Перераспределение усилий между сваями в пределах плитного ростверка учитывается путем совместного решения 4 уравнений квазистатики [15]. При этом за основу приняты предложения Тер-Мартиросяна [16] для статического нагружения. Эти уравнения автором были модифицированы для учета влияния изменения напряженно-деформированного состояния системы при циклическом нагружении, а также процесса

перераспределения усилий при продавливании краевых и угловых свай. При этом усилие в средних сваях увеличиваются в K раз:

$$K(F) = \frac{4F_1 + 2F_2(n_1 + n_2)}{n_3 F_3}, \quad (1)$$

где F_1 – усилия в угловых сваях;
F_2 – усилия в краевых сваях;
F_3 – усилия в средних (рядовых) сваях;
n_1, n_2 – количество краевых свай в сторонах плитно-свайного фундамента;
n_3 – количество средних (рядовых) свай в плитно-свайном фундаменте.

Напряжения в отдельных конкретных зонах системы «плитный ростверк – сваи – грунт межсвайного пространства – грунт ниже острия свай» определяют путем совместного решения четырех уравнений в зависимости от количества циклов нагружения и параметров циклического нагружения [15]. При решении вышеуказанных уравнений учитывается изменение напряженно-деформированного состояния и усилий в отдельных элементах плитно-свайного фундамента и зоны предельного равновесия грунта вдоль боковой поверхности свай (рис. 2).

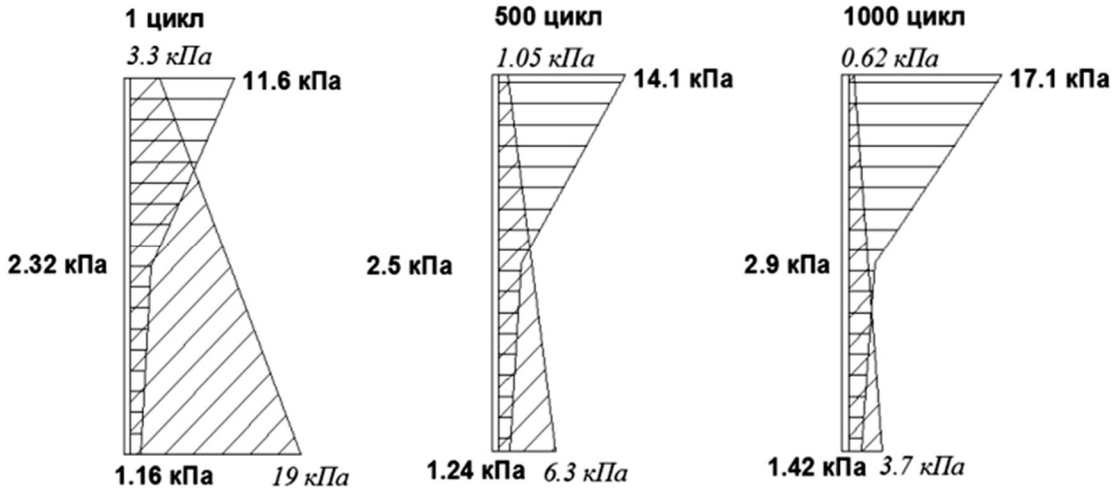


Рис. 2. Эпюры мобилизованного касательного напряжения
и предельного касательного напряжения в грунте вдоль свай (иллюстрация авторов)

Прочность грунта на сдвиг между сваей и грунтом вычисляется исходя из закона Кулона-Мора:

$$\tau^*(N) = \gamma z \cdot \tan\varphi(N) + C(N) + \Delta\sigma_x^{доп} \cdot \tan\varphi(N), \quad (2)$$

где $C(N)$ – удельное сцепление между частицами грунта в условиях циклического нагружения;
$\Delta\sigma_x^{доп} = \sigma_{гр}$ – дополнительное горизонтальное давление на сваю от грунта вследствие совместного деформирования системы (влияние ростверка);
$\sigma_{гр}$ – напряжения в грунте межсвайного пространства от действия ростверка;
$\varphi(N)$ – угол внутреннего трения грунта при циклическом нагружении.

Удельное сцепление между частицами грунта в условиях циклического нагружения вычисляется исходя из результатов исследования автора (Мирсаяпов и др. 2012, Мирсаяпов и Шакиров 2016) по зависимости:

$$c(N) = c_0 \cdot m(t_1\tau_1) \cdot \lambda(t_1\tau_1) \cdot \sqrt{\frac{k(\tau_1)}{k(t)} + \frac{1}{1+k(\tau_1)} \cdot c(t_1\tau)}, \quad (3)$$

где c_0 – удельное сцепление между частицами грунта при кратковременном статическом нагружении.

Касательные напряжения вычисляется следующим образом:

$$\tau_0^{\max}(N) = \frac{a \cdot b\left(p_3(N) - p_2(N)\right) \cdot K(F)}{(a+b) \cdot l \cdot \frac{1}{\alpha}\left(4e^{-\alpha l} - 1\right)}. \quad (4)$$

Система уравнений [1] решается для каждого рассматриваемого цикла с учетом изменения всех параметров системы вследствие перераспределения усилий между плитным ростверком, сваями, грунтом в процессе циклического нагружения, в том числе с учетом изменения зоны предельного равновесия в межсвайном пространстве.

Напряжения в грунте под ростверком вычисляются по формуле:

$$p_1^{\max}(N) = \frac{p^{\max} \cdot AB - p_2^{\max}(N) \cdot ab \cdot K(F)}{(AB - ab)}. \quad (5)$$

Напряжение в сечении сваи на уровне оголовка при циклическом нагружении определяется по формуле:

$$p_2^{max}(N) = \Bigg[P \cdot G_{гр}(N) \cdot AB(AB - ab) \cdot L \cdot \beta_{gr}\left(1 - \frac{l}{L}\right) + 0{,}33 \cdot \tau_0(N) \cdot E_{gr}(N) \cdot \cdot (A - a)(AB - ab) \cdot k_1 + 0{,}33 \cdot \tau_0(N) \cdot E_{gr}(B - b)(AB - ab) - 4 \cdot \cdot \frac{K(F) \cdot \tau_0(N)}{\alpha} \cdot E_{gr}(N) \cdot l(AB - ab) \cdot \omega\left(1 - v_{gr}\right) \cdot k(l) + \frac{K(F) \cdot \tau_0(N)}{\alpha} \cdot E_{gr}(N) \cdot \frac{a + b}{b} \cdot l(AB - ab) \cdot e^{-\alpha} \cdot \omega\left(1 - v_{gr}\right) \cdot k(l)\Bigg] \cdot \begin{bmatrix} a \cdot \omega \cdot \left(1 - v_{gr}\right) \cdot k(l) \cdot (AB - ab) \cdot E_{gr}(N) + \\ +ab \cdot \beta_{gr} \cdot L \cdot \left(1 - \frac{l}{L}\right) \cdot G_{gr}(N) \end{bmatrix}^{-1}, \quad (6)$$

где G – модуль сдвига грунта при циклическом нагружении;

$k(l)$ – безразмерный коэффициент учитывающий влияние глубины приложение жесткого штампа;

l – длина сваи.

Напряжения в грунте под нижним концом сваи можно вычислить по формуле:

$$p_3^{\max}(N) = \frac{\mathrm{K(F)} \cdot p_2(N) \cdot 4ab + 4(a+b) \cdot l \cdot \frac{\tau_0(N) \cdot \mathrm{K(F)}}{\alpha}}{4ab} - \frac{4(a+b) \cdot l \cdot \frac{\tau_0(N)}{\alpha} \cdot e^{-\alpha l}}{4ab}. \quad (7)$$

Несущая способность грунтового основания плитно-свайного фундамента в условиях циклического нагружения в расчетный момент времени ($t = N$) в зависимости от соотношения $\tau_0(N) \leq \tau^*(N)$ оценивается исходя из условий для двух зон (рис. 3):

- в грунте под плитным ростверком:

$$p_1^{max}(N) \leq \sigma_{1u}(N); \quad (8)$$

- в грунте под нижним концом сваи:

$$p_3^{max}(N) \leq \sigma_{1u}(N); \quad (9)$$

где σ_{1u} (N) – предельные напряжения на сжатие в грунте при трехосном циклическом нагружении.

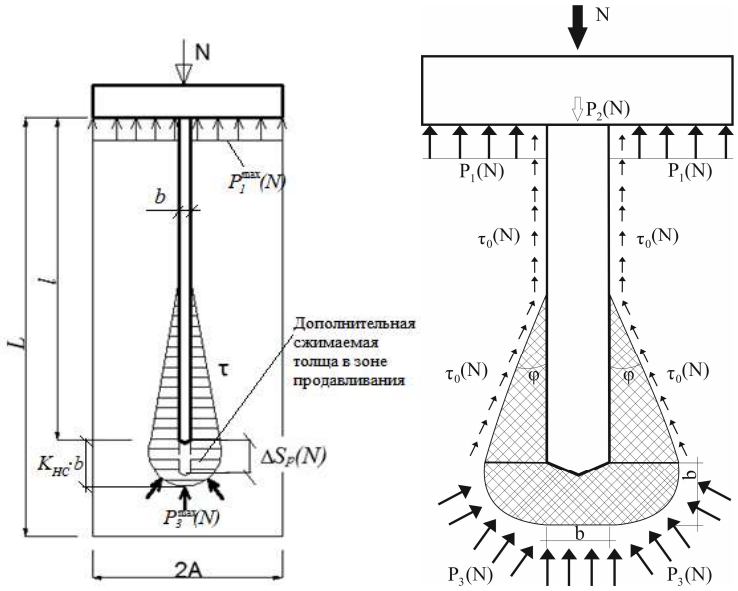


Рис. 3. Расчетная схема системы свая – грунт при расчете осадки продавливания (иллюстрация автора)

3. Результаты и обсуждение

Результаты имеющихся экспериментальных и теоретических исследований показывают, что в грунте под острием сваи реализуется трехосное сжатие, а разрушение (продавливание) происходит с образованием и развитием множества сдвиговых трещин в плоскостях предельного равновесия. Предельные напряжения в грунте дополнительной сжимаемой толщи в зоне продавливания сваей или под плитным ростверком при трехосном циклическом нагружении определяются с использованием расчетной модели грунта при режимном пространственном сжатии.

Циклическое нагружение приводит к уменьшению прочности и к увеличению деформируемости грунта за счет образования и развития микро- и макротрещин в структуре, а также к деградации структуры в локальных потенциально опасных площадках предельного равновесия. В расчетной модели эти процессы учитываются аналитическими уравнениями изменения удельного сцепления и угла внутреннего трения между частицами.

Циклическое нагружение в девиаторном режиме сопровождается образованием и развитием зон пластического сдвига и разрывов грунта в плоскостях предельного равновесия. Разрушение грунта в пространственном напряженном состоянии происходит тогда, когда количество и длина микротрещин усталости достигает критической величины в плоскостях предельного равновесия.

Положение плоскостей предельного равновесия в пространстве меняется в процессе циклического нагружения с увеличением количества циклов. Разрушение грунта в локальном объёме дополнительной сжимаемой толщи зоны продавливания происходит по площадке предельного равновесия, на которой будет минимальное значение потенциальной энергии разрушения.

Этот процесс будет скачкообразным в зависимости от выполнения условий (8) и (9), то есть будут чередоваться процессы развития и остановки трещин, и, как следствие, снижение прочности.

Согласно расчетной модели грунта (И.Т. Мирсаяпов, И.В. Королева, 2015), при неупругом трехосном циклическом деформировании силы Кулоновского трения не действуют по плоскостям предельного равновесия, а приложены к плоскости скольжения частиц грунта. Для определения ориентации этих плоскостей требуется установить деформированное состояние грунта при циклическом нагружении.

Учитывая, что разрушение грунта при циклическом нагружении происходит в пространстве главных напряжений (И.Т. Мирсаяпов, И.В. Королева, 2015), предполагается, что закон Кулона связывает проекцию сил, действующих на площадках предельного равновесия на нормаль к площадке скольжения. Тогда условие течения грунта в условиях трехосного сжатия при циклическом нагружении можно представить в виде:

$$|t| = S \cdot tg\phi(t, t_1, N, \tau) + c_0(t, t_1, N, \tau), \qquad (10)$$

здесь $S = \sigma_1 \cdot l \cdot l` + \sigma_2 \cdot m \cdot m` + \sigma_3 \cdot n \cdot n`$;

$t = ((\sigma_1 \cdot l \cdot m` - \sigma_2 \cdot m \cdot l`)^2 + (\sigma_2 \cdot m \cdot n` - \sigma_3 \cdot n \cdot m`)^2 + (\sigma_3 \cdot n \cdot l` - \sigma_1 \cdot l \cdot n`)^2)^{1/2}$.

Пространственная ориентация участка предельного равновесия определяется по формулам (И.Т. Мирсаяпов, И.В. Королева, 2011):

$$l^2 = \frac{\bar{I}_3}{\bar{I}_2 \cdot \bar{\sigma}_1}; \quad m^2 = \frac{\bar{I}_3}{\bar{I}_2 \cdot \bar{\sigma}_2}; \quad n^2 = \frac{\bar{I}_3}{\bar{I}_2 \cdot \bar{\sigma}_3}; \qquad (11)$$

$$\sigma_{lu}(N) = \frac{4}{A_1}[\sigma_v(t, t_1, N) \cdot \cos\alpha_1(t, t_1, N) + \tau_v(t, t_1, N) \cdot A_{sh} \cdot \sin\alpha_1(t, t_1, N)]. \qquad (12)$$

Были установлены закономерности изменения напряженно-деформированного состояния элементов плитно-свайного фундамента при циклическом нагружении, с учетом перераспределения усилий между крайними, угловыми и рядовыми сваями. В рассмотренной зоне реализуется объемное напряженно-деформированное состояние. Потеря несущей способности плитно-свайного фундамента при циклическом нагружении происходит при условии достижения предельного напряженного состояния в 2 зонах: в грунте под плитным ростверком и в грунте под нижним концом сваи.

Установленные закономерности деформирования грунтов под плитным ростверком, вдоль боковой поверхности свай и под нижней плоскостью свай, касаются неводонасыщенных грунтов под действием циклических нагрузок, для которых не требуется учет инерционных сил.

В тех случаях, когда плитно-свайные фундаменты опираются на водонасыщенные грунты необходимо учитывать влияние деформаций виброползучести первичной консолидации, связанные с отжатием связанной и слабосвязанной воды из пор грунта. Кроме этого также необходимо будет уточнять влияние скорости приложения нагрузки на скорость протекания деформаций первичной консолидации.

4. Заключение

1. Выполненные аналитические исследования позволили установить основные закономерности деформирования с учетом перераспределения усилий между крайними, угловыми и рядовыми сваями. Согласно им, основной причиной перераспределения является осадка продавливания, которая определяется для стадии, когда касательные напряжения по боковой поверхности отсутствуют в верхней и в средней части сваи вследствие достижения предельного сопротивления на сдвиг. Продавливание грунта под острием сваи происходит тогда, когда напряжение под пятой сваи и под плитным ростверком превышает усталостную прочность грунта при трехосном циклическом сжатии.

2. Разработаны уравнения несущей способности плитно-свайного фундамента при циклическом нагружении. Полученное уравнение механического состояния плитно-свайного фундамента описывает основные закономерности поведения таких фундаментов, наблюдаемые в экспериментах на различных стадиях нагружения и позволяет достоверно оценивать осадки продавливания плитно-свайных фундаментов при циклических нагружениях.

3. Разработана расчетная модель, описывающая перераспределения усилий между угловыми, крайними и рядовыми сваями плитно-свайного фундамента. Сопоставление результатов расчета с данными экспериментальных исследований свайных фундаментов показало хорошую сходимость между расчетными и опытными значениями (отклонение не более чем на 15 %).

Список библиографических ссылок

1. Katzenbach R., Leppla S. Environment-friendly and economically optimized foundation systems for sustainable high-rise buildings: ICSMGE 2017 – 19th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering / 19th ICSMGE Secretariat. Seoul, 2017. P. 3381–3384.
2. Katzenbach R., Leppla S. Optimised design of foundation systems for high-rise structures: Insights and Innovations in Structural Engineering, Mechanics and Computation – Proceedings of the 6th International Conference on Structural Engineering, Mechanics and Computation / CRC Press, Balkema. Cape Town, 2016. P. 2042–2047. DOI: 10.1201/9781315641645-338.
3. Bokov I. A., Fedorovskii V. G. On the Calculation of Groups of Piles Using Mutual Influence Coefficients in the Elastic Half-Space Model // Soil Mechanics and Foundation Engineering. 2018. V. 54. Iss. 6. P. 363–370. DOI: 10.1007/s11204-018-9482-8.
4. Bokov I. A., Fedorovskii V. G. On the Applicability of the Influence Function Obtained from Single-Pile Calculations for the Calculation of Pile Groups // Soil Mechanics and Foundation Engineering. 2019. V. 55. Iss. 6. P. 359–365. DOI: 10.1007/s11204-019-09549-y.
5. Hirai H. Assessment of cyclic response to suction caisson in clay using a three-dimensional displacement approach // Mar. Georesources Geotechnol. 2018. Vol. 36. Iss. 7. P. 805–817. DOI: 10.1080/1064119X.2017.1386743.
6. Харичкин А. И., Шулятьев О. А., Курилло С. В., Федоровский В. Г. Особенности взаимодействия свай между собой и с грунтом в составе групп // Вопросы проектирования и устройства надземных и подземных конструкций зданий и сооружений. 2018. С. 56–67.
7. Травуш В. И., Шулятьев О. А., Шулятьев С. О., Шахраманьян А. М., Колотовичев Ю. А. Анализ результатов геотехнического мониторинга башни «Лахта центр» // Основания, фундаменты и механика грунтов. 2019. № 2. С. 15–21.
8. Шулятьев О. А. Новый свод правил по проектирванию оснований и фундментов высотных зданий // Основания, фундаменты и механика грунтов. 2016. № 6. С. 37–40.
9. Kayumov R. A., Tazyukov B. F., Mukhamedova I. Z. Identification of Mechanical

Characteristics of a Nonlinear-Viscoelastic Composite by Results of Tests on Shells of Revolution // Mechanics of Composite Materials. 2019. Vol. 55. P. 171–180. DOI: 10.1007/s11029-019-09802-3.
10. Ren X.-W., Xu Q., Teng J., Zhao N., Lv L. A novel model for the cumulative plastic strain of soft marine clay under long-term low cyclic loads // Ocean Eng. 2018. Vol. 149. P. 194–204. DOI: 10.1016/j.oceaneng.2017.12.028.
11. Ni J., Indraratna B., Geng X.Y., Carter J. P., Chen Y. L. Model of soft soils under cyclic loading. Int. J. Geomech. 2015. Vol. 15. Iss. 4. P. 212. DOI: 10.1061/(ASCE)GM.1943-5622.0000411.
12. Mirsayapov Ilizar T., Shakirov M. I. Combined Plate-Pile Foundations Settlement Calculation under Cyclic Loading // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. № 890. P. 012069. DOI: 10.1088/1757-899X/890/1/012069.
13. Mirsayapov Ilizar T., Shakirov M. I. Bearing capacity and settlement of raft-pile foundations under cyclic loading: Energy Geotechnics – Proceedings of the 1st International Conference on Energy Geotechnics / CRC Press, Balkema. Kiel, 2016. P. 423–428.
14. Mirsayapov Ilizar T., Koroleva I. V., Ivanova O. A. Low-Cycle endurance and deformation of clay soils under three-axis cyclic loading // Housing construction in Moscow. 2012. Iss. 9. P. 6–8. DOI: 18083643/0044-4472.
15. Mirsayapov Ilizar T., Koroleva I. V. Bearing capacity of foundations under regime cyclic loading: 15th Asian Reg. Conf. Soil Mech. Geotech. Eng. ARC. 2015. P. 1214–1217.
16. Тер-Мартиросян З. Г., Сидоров В. В. Взаимодействие длинной барреты с однослойным и двухслойным основанием // Жилищное строительство. 2010. № 1. С. 36–39.

Mirsayapov Ilizar Talgatovich
doctor of technical sciences, professor
Email: mirsayapov1@mail.ru
Kazan State University of Architecture and Engineering
The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

The load-bearing capacity of slab-pile foundations, taking into account the redistribution of forces between piles during cyclic loading

Abstract

Problem statement. The aim of the work is to study the load-bearing capacity of the raft-pile foundation under cyclic loading, taking into account the redistribution of forces between the piles. The load-bearing capacity of a raft-pile foundation under cyclic loading consists of three components: piles, the soil under the slab and soil under the lower end of the piles. The sediment of pushing through the raft-pile foundation significantly changes the distribution of loads on the piles, especially on the extreme and corner ones, which are overloaded. In this article, this process is considered in three-dimensional mode, taking into account the joint deformation of all elements of the system «pile cap – piles–soil between piles – soil below the toe». It takes into account the redistribution of forces between the elements of the system under cyclic loading due to the occurrence of deformations of the soil, pile grillage and piles in the appropriate conditions. The load-bearing capacity of the raft-pile foundation is determined for the stage when tangential stresses along the side surface are absent in the upper and middle part of the pile as a result of reaching the maximum shear resistance. The soil is forced under the tip when the stress under the fifth pile and under the plate exceeds the fatigue strength and maximum deformations of the soil under three-axis cyclic compression.

Results. Theoretical studies are carried out and the redistribution of forces between the main elements of the raft-pile foundation is considered. The change in the stress-strain state of the base of the raft-pile foundation under cyclic loading due to the redistribution of forces between the corner, extreme and ordinary piles is considered.

Conclusions. The significance of the results obtained for the construction industry is that for the first time the proposed method allows us to assess the load-bearing capacity of the slab-pile foundation. Comparison of the results of calculations for the proposed model with experimental studies showed good convergence.

Keywords: raft-pile foundation, pile, settlement, soil, cyclic loading.

For citation: Mirsayapov Ilizar T. Load-bearing capacity of slab-pile foundations, taking into account the redistribution of forces between piles during cyclic loading // Izvestija KGASU. 2021. № 1 (55). P. 5–12. DOI: 10.52409/20731523_2021_2_5.

References

1. Katzenbach R., Leppla S. Environment-friendly and economically optimized foundation systems for sustainable high-rise buildings: ICSMGE 2017 – 19th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering / 19th ICSMGE Secretariat. Seoul, 2017. P. 3381–3384.
2. Katzenbach R., Leppla S. Optimised design of foundation systems for high-rise structures: Insights and Innovations in Structural Engineering, Mechanics and Computation – Proceedings of the 6th International Conference on Structural Engineering, Mechanics and Computation / CRC Press, Balkema. Cape Town, 2016. P. 2042–2047. DOI: 10.1201/9781315641645-338.
3. Bokov I. A., Fedorovskii V. G. On the Calculation of Groups of Piles Using Mutual Influence Coefficients in the Elastic Half-Space Model // Soil Mechanics and Foundation Engineering. 2018. V. 54. Iss. 6. P. 363–370. DOI: 10.1007/s11204-018-9482-8.
4. Bokov I. A., Fedorovskii V. G. On the Applicability of the Influence Function Obtained from Single-Pile Calculations for the Calculation of Pile Groups // Soil Mechanics and Foundation Engineering. 2019. V. 55. Iss. 6. P. 359–365. DOI: 10.1007/s11204-019-09549-y.
5. Hirai H. Assessment of cyclic response to suction caisson in clay using a three-dimensional displacement approach // Mar. Georesources Geotechnol. 2018. Vol. 36. Iss. 7. P. 805–817. DOI: 10.1080/1064119X.2017.1386743.
6. Harichkin A. I., shulyatev O. A., Kurillo S. V., Fedorovsky V. G. Features of interaction of piles with each other and with the ground as part of groups // Issues of design and construction of aboveground and underground structures of buildings and structures. 2018. P. 56–67.
7. Travush V. I., Shulyatev O. A., Shulyatev S. O., Shakhramanyan A.M., Kolotovichev Yu. A. Analysis of the results of geotechnical monitoring of the Lakhta center tower // Subgrades, foundations and soil mechanics. 2019. № 2. P. 15–21.
8. Shulyatev O. A. New set of rules for designing foundations and foundations of high-rise buildings // Subgrades, foundations, and soil mechanics. 2016. № 6. P. 37–40.
9. Kayumov R. A., Tazyukov B. F., Mukhamedova I. Z. Identification of Mechanical Characteristics of a Nonlinear-Viscoelastic Composite by Results of Tests on Shells of Revolution // Mechanics of Composite Materials. 2019. Vol. 55. P. 171–180. DOI: 10.1007/s11029-019-09802-3.
10. Ren X.-W., Xu Q., Teng J., Zhao N., Lv L. A novel model for the cumulative plastic strain of soft marine clay under long-term low cyclic loads // Ocean Eng. 2018. Vol. 149. P. 194–204. DOI: 10.1016/j.oceaneng.2017.12.028.
11. Ni J., Indraratna B., Geng X.Y., Carter J. P., Chen Y. L. Model of soft soils under cyclic loading // Int. J. Geomech. 2015. Vol. 15. Iss. 4. P. 212. DOI: 10.1061/(ASCE)GM.1943-5622.0000411.
12. Mirsayapov Ilizar T., Shakirov M. I. Combined Plate-Pile Foundations Settlement Calculation under Cyclic Loading // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. № 890. P. 012069. DOI: 10.1088/1757-899X/890/1/012069.
13. Mirsayapov Ilizar T., Shakirov M. I. Bearing capacity and settlement of raft-pile foundations under cyclic loading: Energy Geotechnics – Proceedings of the 1st International Conference on Energy Geotechnics / CRC Press, Balkema. Kiel, 2016. P. 423–428.
14. Mirsayapov Ilizar T., Koroleva I. V., Ivanova O. A. Low-Cycle endurance and deformation of clay soils under three-axis cyclic loading // Housing construction in Moscow. 2012. Iss. 9. P. 6–8. DOI: 18083643/0044-4472.
15. Mirsayapov Ilizar T., Koroleva I. V. Bearing capacity of foundations under regime cyclic loading: 15th Asian Reg. Conf. Soil Mech. Geotech. Eng. ARC. 2015. P. 1214–1217.
16. Ter-Martirosyan Z. G., Sidorov V. V. Interaction of a long barreta with a single-layer and double-layer base // Housing construction. 2010. № 1. P. 36–39.

УДК 678.743.22.

Исламов Анвар Махмутович
кандидат технических наук, старший преподаватель
Email: iam16@yandex.ru
Фахрутдинова Венера Хафизовна
кандидат химических наук, доцент
Email: faxrutdinova1963@mail.ru
Абдрахманова Ляйля Абдулловна
доктор технических наук, профессор
Email: laa@kgasu.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет
Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1
Закирова Камила Ильгамовна
техник ПТО
Email: kamilka.zakirova@mail.ru
ООО «Строй Инжиниринг»
Адрес организации: 445045, Россия, г. Тольятти, ул. Ярославская, д. 12

Поверхностная модификация поливинилхлорида водной коллоидной дисперсией графеновых нанопластинок

Аннотация

Постановка задачи. В работе исследовались возможность и влияние на свойства получаемых композитов водной коллоидной дисперсии графеновых нанопластинок при поверхностной модификации поливинилхлорида.

Результаты. Показано, что в результате диффузионной пропитки поливинилхлоридом в коллоидной дисперсии графеновых нанопластинок до оптимальной степени набухания (0,17 %) и последующего температурного воздействия в поверхностных слоях композитов, происходит образование упорядоченных структур, что обуславливает увеличение поверхностной микротвердости на 36 %, стойкости к истиранию – на 81 % и др.

Выводы. Значимость полученных результатов для строительной отрасли заключается в разработке технологических параметров диффузионной модификации ПВХ для получения изделий с усиленными поверхностными свойствами и высоким сопротивлением к действию различных эксплуатационных факторов.

Ключевые слова: поливинилхлорид, графеновые нанопластины, диффузия, набухание, градиент.

Для цитирования: Исламов А. М., Фахрутдинова В. Х., Абдрахманова Л. А., Закирова К. И. Поверхностная модификация поливинилхлорида водной коллоидной дисперсией графеновых нанопластинок // Известия КГАСУ. 2021. № 2 (56). С. 13–21. DOI: 10.52409/20731523_2021_2_13.

1. Введение

Благодаря ценному сочетанию технологических и эксплуатационных свойств, современное строительное материаловедение невозможно представить без использования полимерных композиционных материалов. Среди них, особое место занимают материалы на основе поливинилхлорида (ПВХ) – термопластичного полимера, обладающего высокой способностью к модификации, что позволяет на его основе выпускать широкую номенклатуру изделий [1, 2].

Как правило, все свойства этих материалов однородны по сечению изделий и конструкций. А между тем во время эксплуатации поверхностная часть изделий, в том числе и полимерных, подвергается влиянию различных эксплуатационных факторов, которые распределяются не по всему объему изделия, а концентрируются на поверхности, содержащей повышенное количество локальных напряжений и дефектов, возникающих в процессе переработки. Поверхностные дефекты наиболее опасны, с

поверхности начинается механическое разрушение, химическая коррозия, старение, термическая и термоокислительная деструкция, что снижает период эксплуатации готовых изделий [3-5].

Поэтому упрочняющая или другая функциональная обработка поверхности полимерных изделий практически без изменения структуры внутренней части является перспективным направлением и развивается в последние годы, что позволяет на основе известных полимеров получать качественно новые материалы с комплексом улучшенных физико-химических и эксплуатационных свойств.

Возможных путей усиления поверхностных слоев достаточно много. Существует множество различных методов модификации полимерных материалов с целью увеличения их твердости, износостойкости, стойкости к царапанию и т.д. Чаще всего модификацию поверхности полимеров осуществляют путем механического [4, 5], энергетического [6] и диффузионного [7-9] воздействия на поверхность готовых изделий без изменения структуры и состава внутренних слоев. Модификация поверхности различными жидкими реагентами является наиболее эффективной. В процессе диффузии жидкого модификатора в блок полимера образуется неотделимый поверхностный слой, свойства которого изменяются по толщине образца, то есть по градиенту. Меняя условия диффузионной пропитки, можно регулировать глубину проникания и тем самым толщину поверхностного градиентного слоя. Диффузионный метод, позволяющий заполнять модификатором поры в структуре полимера, является принципиально новым методом модификации полимеров в изделиях [5].

Теоретическими предпосылками для осуществления поверхностной обработки полимерных изделий с целью их упрочнения является неоднородность надмолекулярной структуры самих полимеров. Как известно, макромолекулы в поверхностных слоях укладываются более рыхло, что приводит к деформации плотных глобулярных образований. Это приводит к увеличению свободного объема по сравнению с внутренней частью и к сохранению молекулярной подвижности. Поверхностные слои напрямую подвергаются воздействиям внешних факторов при переработке и эксплуатации, что приводит к накоплению напряжений, дефектов структуры и макромолекул [10-12]. Следовательно, актуальной представляется модификация слабых поверхностных слоев, так как они наиболее доступны для диффузионного проникновения.

Надмолекулярная структура полимеров отличается большим многообразием, благодаря тому, что макромолекулы способны принимать в пространстве большое множество конформаций, образуя различные элементы структуры (клубок, пачка, глобула, кристаллит). Как правило, размеры надмолекулярных элементов и свободного пространства между ними составляют несколько десятков нанометров, поэтому полимеры всегда являются «естественными наноструктурными образованиями» [13]. Это позволяет использовать в качестве диффузантов не только растворы, но и коллоидные дисперсии, содержащие наноразмерные частицы.

Ранее авторами была показана эффективность использования водных золей кремниевой кислоты для поверхностной наномодификации ПВХ. Золи представляли собой коллоидные растворы, содержащие наноразмерные мицеллы аморфного кремнезема (средний размер частиц 5-9,5 нм). Их использование позволяет получать материалы с усиленными поверхностными свойствами в результате не только заполнения слабых зон поверхностных слоев ПВХ частицами модификатора и возникновения межмолекулярного взаимодействия, но и упорядочения возникающих структур [14].

Различные по природе вещества и соединения имеют потенциальную возможность использования в качестве диффузантов, поэтому работа по выявлению эффективности новых модификаторов для повышения эксплуатационных свойств ПВХ материалов продолжается. В качестве таких модификаторов большой интерес представляют графеновые нанопластины (ГНП) – небольшие стопки монослоев графита, обладающие уникальными свойствами (высокая электро- и теплопроводность, механическая прочность, низкая стоимость и т.д.). Имеющиеся исследования показывают, что объемное наполнение ПВХ малыми количествами ГНП (0,1-2,5 % по массе) приводит к улучшению прочностных, термических и термомеханических свойств получаемых нанокомпозитов [15, 16]. Авторы связывают это с тем, что ГНП хорошо диспергируется в матрице ПВХ,

вследствие чего образуются водородные связи между нанонаполнителем и полимером. Это приводит к перестройке аморфных полимерных цепей ПВХ в окружении частиц ГНП, приводящей к более эффективной передаче нагрузки между полимером и наполнителем.

Таким образом, представляет большой теоретический и практический интерес модифицирование структуры поверхности готовых ПВХ-изделий частицами ГНП, но в рамках поверхностных слоев, и осуществление его в процессе диффузионной пропитки. Для достижения этого в данной работе была рассмотрена коллоидная дисперсия ГНП, получение которой описано в работе [17].

Целью настоящей работы является создание полимерных композиционных материалов с усиленными поверхностными свойствами путем диффузионной модификации ПВХ водной дисперсией ГНП.

Задачей исследования явилась оптимизация технологических режимов получения композитов и определение их основных физико-механических и эксплуатационных характеристик.

2. Материалы и методы

Для проведения экспериментальных исследований использовались образцы ПВХ, не содержащие каких-либо функциональных добавок. Композиция включала в себя 100 м.ч. порошкообразной ПВХ-смолы марки С-7058-М, соответствующей ГОСТ 14332-78, и 3 м.ч. стабилизатора-смазки стеарата кальция, соответствующего ТУ 6-09-4104-87. Изначально путем термопластикации на вальцах получались пленочные материалы, которые затем прессовались в блочные образцы размерами 20×20×4 мм.

Поверхностная модификация ПВХ осуществлялась водной коллоидной дисперсией ГНП AV-74. Данный модификатор использовался в качестве диффузанта, который представлял собой непрозрачную жидкость, состоящую по массе на 98 % из дистиллированной воды, на 1 % из фенолформальдегидной смолы и на 1 % из равномерно распределенных частиц графеновых нанопластинок.

Модификация осуществлялась путем пропитки исходных ПВХ-образцов в модификаторе до необходимой степени набухания и последующей температурной выдержки при 100 °С в течение 3 часов для удаления жидкой фазы модификатора.

3. Результаты и обсуждение

Первым этапом поверхностной модификации ПВХ является пропитка в коллоидной дисперсии ГНП. Образцы выдерживаются в модификаторе при определенной температуре в течение заданного времени, при этом происходит процесс набухания. Поэтому кинетика процесса диффузии определялась по изменению массы и линейных размеров полимерных образцов.

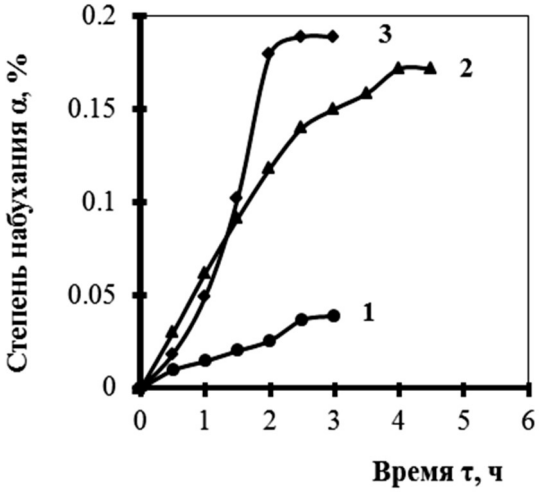


Рис. 1. Кинетические кривые набухания ПВХ-образцов в дисперсии ГНП при температуре 20ºС (1), 60ºС (2) и 80ºС (3) (иллюстрация авторов)

На рис. 1 показано, что кинетические кривые являются типичными кривыми насыщения с выходом на плато. Возрастание температуры приводит к снижению времени достижения соответствующей степени набухания. Однако, в целом, для всех образцов характерны низкие показатели насыщения, значения которых не превышают 0,2 % по массе, что свидетельствует о малой совместимости ГНП и матрицы ПВХ даже при высокой температуре пропитки, близкой к стеклованию ПВХ. Это особенно заметно по невысоким значениям характеристик процесса диффузии, представленным в табл. 1.

Тем не менее, повышение температуры пропитки является обоснованным и более предпочтительным, поскольку позволяет модификатору проникать в большем объеме, что позволяет существенно повлиять на структуру модифицированного ПВХ.

Таблица 1

Характеристики процесса пропитки ПВХ-образцов в водной дисперсии ГНП

Температура пропитки, °С	Время пропитки **τ**, мин	Степень набухания **α**, %	Коэффициент диффузии **D**, $\times 10^{-6}$ см^2/с	Коэффициент сорбции **S**, г/см^3	Коэффициент проницаемости **P**, $\times 10^{-8}$ г×см/см^2×с
20	90	0,04	3,89	0,0005	0,19
60	84	0,17	4,21	0,0023	0,97
80	87	0,19	4,25	0,0024	1,02

Технологический процесс диффузионной модификации ПВХ будет определяться только двумя параметрами – температурой пропитки и временем выдержки изделий в диффузанте. Для этой цели были построены изолинии равной степени пропитки (рис. 2), которые позволяют подобрать параметры для достижения требуемой степени набухания. Они наглядно показывают, что увеличение температуры приводит к уменьшению времени, необходимого для достижения определенной степени набухания.

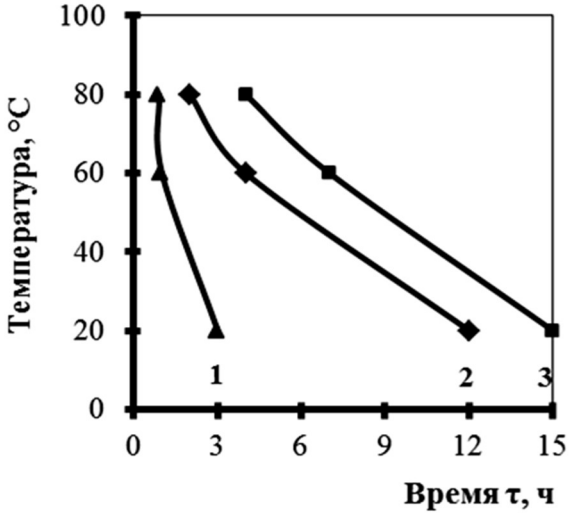


Рис. 2. Линии равной степени пропитки образцов ПВХ в дисперсии ГНП при степени набухания 0,04 % (1); 0,17 % (2); 0,19 % (3). (иллюстрация авторов)

На следующем этапе ПВХ-образцы подвергались термической обработке для удаления жидкой фазы модификатора и «закрепления» частиц ГНП в структуре материала. Особенностью диффузионной модификации является то, что модификатор проникает не на всю толщину полимерного изделия, а концентрируется в поверхностном слое. Его содержание, как правило, плавно уменьшается от поверхности вглубь образца – по градиенту. Тем самым реальная концентрация модификатора в поверхностном слое образцов намного выше. Рассчитано, что для образцов со степенью набухания 0,04 % средняя локальная концентрация дисперсии ГНП в поверхностном слое ПВХ составляет 17,7 %, при степени набухания 0,17 % – соответственно 34 %.

Несомненно, эти изменения в структуре модифицированных образцов отразятся на их свойствах. При этом изменение будет происходить неравномерно по объёму материала, а по градиенту от поверхности вглубь. Для определения неравномерного влияния диффузионной пропитки проводилось определение поверхностной микротвердости по толщине образцов. Данный метод исследования позволяет определять микромеханические свойства в локальных масштабах, сопоставимых с отдельными фазами или структурными составляющими, что имеет большое значение для неоднородных материалов. В работах [18, 19] была показана определенная зависимость между микротвердостью полимеров и концентрацией диффузанта. Поэтому по изменению микротвердости можно косвенно судить о характере распределения модификатора в поверхностном слое полимерного образца.

Анализ полученных данных (рис. 3) показал, что исходный ПВХ-образец по толщине имеет неоднородное изменение свойств. В глубине образцов микротвердость немного выше по сравнению с поверхностью, связанной с наличием дефектов и неоднородностей структуры.

В результате пропитки в водной дисперсии ГНП поверхностная микротвердость ПВХ снижается. Таким образом, диффузант оказывает пластифицирующее действие.

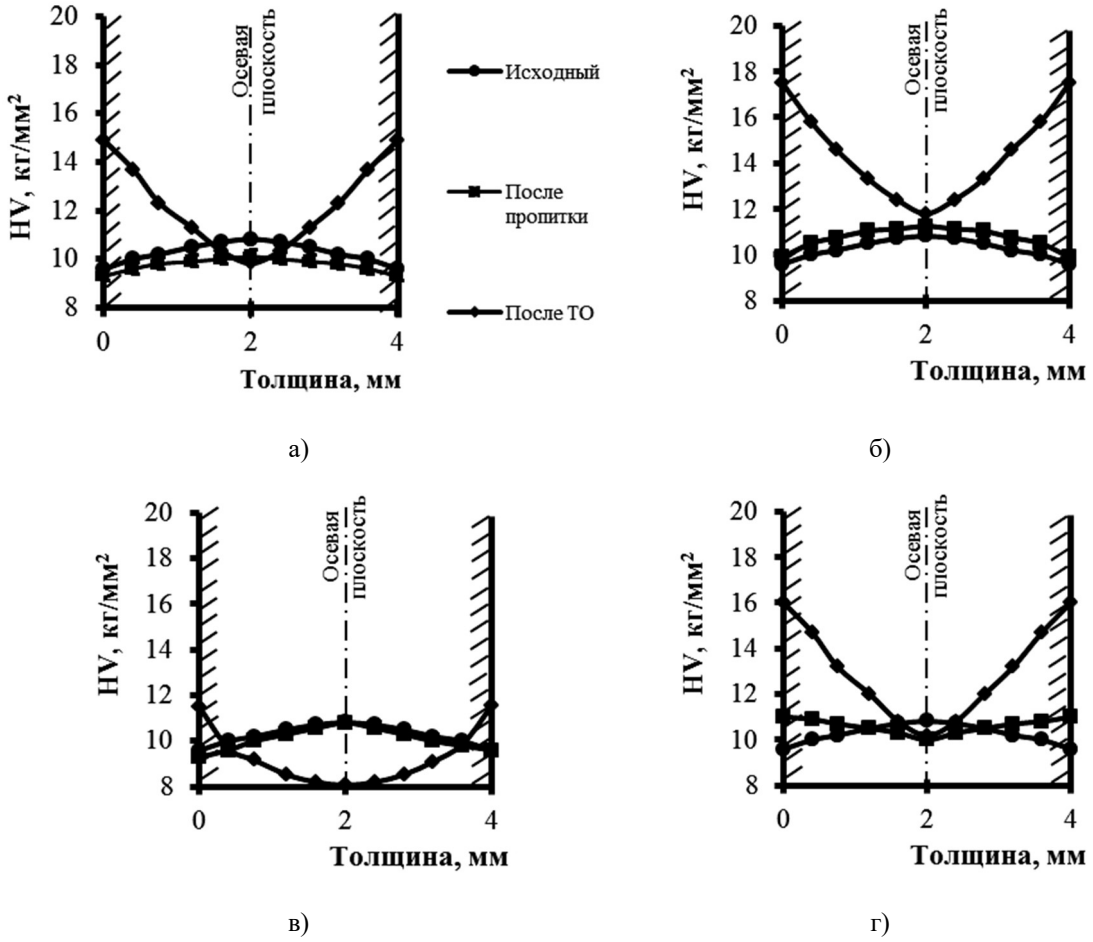


Рис. 3. Кривые распределения микротвердости по толщине ПВХ-образцов со степенью набухания 0,04 % (а), 0,17 % (б), 0,19 % (в) в дисперсии ГНП и 0,15 % (г) в дистиллированное воде. (иллюстрация авторов)

После тепловой обработки при 100ºС в течение 3 часов наблюдается усиление образцов с инверсией кривых микротвердости. Наибольший прирост на 82 % достигается для образцов со степенью набухания ПВХ 0,17 %, которую можно достичь за 4 часа пропитки при температуре 60°С, либо менее чем за 2 часа при 80°С. При содержании

модификатора в количестве превышающим оптимальные значения, происходит снижение прироста микротвердости как на поверхности, так и внутри материала.

Механизм усиления поверхности ПВХ в результате модификации достаточно сложный, поскольку в нем задействовано множество элементов. В результате диффузионной обработки не только вводятся частицы ГНП в рыхлоупакованные области ПВХ, но и изменяется структура и физическое состояние поверхностных слоев полимерного изделия. К тому же нужно учитывать влияние дисперсионной среды диффузанта, так как глубина его проникновения в полимер всегда больше, чем у самого модификатора. Как известно, вода обладает высокой проникающей способностью в полимеры и может взаимодействовать с их полярными центрами. Таким образом, усиление ПВХ можно связать со следующими процессами: во-первых, с образованием межмолекулярного взаимодействия между наполнителем и полимером, приводящим к структурированию матрицы ПВХ в окружении частиц ГНП; во-вторых, с возникновением водородных связей и упорядочением структуры воды в условиях полярных групп ПВХ [20].

Для проверки этого факта была осуществлена пропитка ПВХ-образцов в дистиллированной воде при 60°С и определена их поверхностная микротвердость. Выявлено, что кривая набухания ПВХ в воде практически идентична кривой набухания в дисперсии ГНП при аналогичной температуре и времени выдержки. Таким же образом, после тепловой обработки происходит усиление поверхности образцов с инверсией кривых микротвердости с приростом 67 % (рис. 3г). Полученные результаты показывают существенный вклад дисперсионной среды модификатора в усиление поверхности ПВХ, которые составляют около 82 %, а оставшиеся 18 % на частицы ГНП. Несмотря на то, что во время тепловой обработки удаляется значительная часть физически связанной воды, оставшаяся вода (либо следы ее присутствия) совместно с частицами ГНП приводят к структурным изменениям ПВХ, оказывая благоприятное изменение свойств.

Об этом свидетельствуют данные термомеханического анализа (табл. 2). Увеличение степени набухания приводит к закономерному росту температуры стеклования ПВХ-образцов и, соответственно, плотности узлов физической сетки. Это дополнительно подтверждает, что в результате модификации в поверхностном слое устраняются дефекты и области с пониженной молекулярной упаковкой путем заполнения их частицами модификатора. Структура поверхности ПВХ становится более плотной, упорядоченной, и при механических воздействиях мало деформируется. Возрастает стойкость модифицированных образцов к абразивному воздействию и действию растворителя. Несмотря на то, что модификации подвергается лишь поверхность образца, в конечном счете, улучшение свойств наблюдается для всего материала в целом.

Таблица 2

Данные термомеханического анализа, экстрагирования и истираемости для ПВХ композитов с различной степенью набухания в дисперсии ГНП

Степень набухания ПВХ в дисперсии ГНП (%)	Интервал температуры стеклования (°С)	Эффективная плотность узлов сетки ν_e (моль/г×10^{-6})	Количество экстрагируемых в циклогексаноне (%)	Истираемость (мкм)
0	75-79	52,6	100	528
0,04	78-97	53,3	96,5	477
0,17	85-108	55,5	89,6	291
0,18	100-105	63,1	93,4	280

4. Заключение

1. Показана возможность и эффективность использования водной коллоидной дисперсии графеновых нанопластин AV-74 в качестве модификатора поверхностных свойств ПВХ-материалов.

2. Оптимальным режимом диффузионной модификации является пропитка ПВХ до степени набухания 0,17 % с последующей температурной обработкой при 100°С в течение 3

часов. Результатом модификации ПВХ является увеличение поверхностной микротвердости на 82 %, стойкости к истиранию на 81 %, рост интервала стеклования на 10°С и др.

3. Усиливающее действие может быть связано с упрочнением структуры поверхностных слоев модифицированного ПВХ в результате образования межмолекулярного взаимодействий между полимером и компонентами диффузанта.

4. Модифицированные таким образом ПВХ-материалы могут быть использованы в качестве полимерных изделий и конструкций, способных работать в условиях воздействия агрессивных сред, абразивного износа, трения, царапания (трубы, профильно-погонажные изделия, листовой винипласт, бипластмассовые трубы, царги).

Благодарность

Авторы выражают огромную благодарность ООО «НаноТехЦентр» (г. Тамбов) за предоставленные образцы углеродных наноматериалов.

Список библиографических ссылок

1. Абдрахманова Л. А., Хатимиров А. Г., Низамов Р. К., Хозин В. Г. Древесно-полимерные наномодифицированные поливинилхлоридные строительные композиты // Вестник МГСУ. 2018. № 4 (115). С. 426–434. DOI: 10.22227/1997–0935.2018.4.426-434.
2. Абдрахманова Л. А., Хузиахметова К. Р., Низамов Р. К., Хозин В. Г. Модификаторы для жестких поливинилхлоридных композиций строительного назначения // Строительные материалы. 2020. № 12. С. 34–39. DOI: 10.31659/0585-430X-2020-787-12-34-39.
3. Sabbatini L. Polymer Surface Characterization. Berlin : De Gruyter, 2014. 308 p.
4. Wolf R.A. Plastic surface modification: surface treatment and adhesion. Munich : Carl Hanser Verlag, 2016. 244 p.
5. Mincheva R., Raquez J. M. The Surface of Polymers // Surface Modification of Polymers: Methods and Applications. 2019. Iss. 1. P. 1–30. DOI: 10.1002/9783527819249.ch1.
6. Grace J. M., Gerenser L. J. Plasma treatment of polymers // Journal of Dispersion Science and Technology. 2003. Vol. 24. Iss. 3-4. P. 305–341. DOI: 10.1081/dis-120021793.
7. Назаров В. Г. Поверхностная модификация полимеров. М. : МГУП, 2008. 474 с.
8. Kharitonov A. P., Kharitonova L. N. Surface modification of polymers by direct fluorination. A convenient approach to improve commercial properties of polymeric articles // Pure and Applied Chemistry. 2009. Vol. 81. Iss. 3. P. 451–471. DOI: 10.1351/pac-con-08-06-02.
9. Sacristán J., Reinecke H., Mijangos C. Surface modification of PVC films in solvent-non solvent mixtures // Polymer. 2000. Vol. 41. Iss. 15. P. 5577–5582. DOI: 10.1016/s0032-3861(99)00784-3.
10. Волынский А. Л., Ярышева А. Ю., Рухля Е. Г., Ярышева Л. М., Бакеев Н. Ф. Особенности структуры и свойств растворов, расплавов и твердых полимеров в ограниченных нанометровых объемах // Успехи химии. 2014. Т. 83. № 11. С. 1003–1026.
11. Paeng K., Richert R., Ediger M. D. Molecular mobility in supported thin films of polystyrene, poly(methyl methacrylate), and poly (2-vinyl pyridine) probed by dye reorientation // Soft Matter. 2012. Vol. 8. Iss. 3. P. 819–826. DOI: 10.1039/c1sm06501g.
12. Wilkes C. E., Daniels C. A., Summers J. W., Krauskopf L. G., Godwin A. PVC Handbook. Munich : Hanser Publications, 2005. 723 p.
13. Ivanchev S. S., Ozerin A. N. Nanostructures in polymer systems // Polymer Science Series B. 2006. Vol. 48. Iss. 4. P. 213–225. DOI: 10.1134/s1560090406070153.
14. Islamov A. M., Fakhrutdinova V. Kh. Surface modification of PVC by silica sol // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. № 890. 012083. DOI: 10.1088/1757-899X/890/1/012083.
15. Ahmed R. M., Ibrahiem A. A., El-Bayoumi A. S., Atta M. M. Structural, mechanical, and dielectric properties of polyvinylchloride/graphene nano platelets composites //

International Journal of Polymer Analysis and Characterization. 2021. Vol. 26. Iss. 1. P. 68–83. DOI: 10.1080/1023666x.2020.1845493.
16. Mindivan F., Göktaş M., Dike A. S. Mechanical, thermal, and micro- and nanostructural properties of polyvinyl chloride/graphene nanoplatelets nanocomposites // Polymer CompositesVolume. 2020. Vol. 41. Iss. 9. P. 3707–3716. DOI: 10.1002/pc.25669.
17. Буракова Е. А., Мележик А. В., Герасимова А. В. Получение устойчивых дисперсий графеновых нанопластинок // Научно-технические ведомости СПбПУ. Естественные и инженерные науки. 2018. № 4 (24). С. 196–204.
18. Baltá Calleja F. J., Fakirov S. Microhardness of Polymers. New York : Cambridge University Press, 2000. 237 p.
19. Flores A., Ania F., Baltá-Calleja F. J. From the glassy state to ordered polymer structures: A microhardness study. 2009. Vol. 50. Iss. 3. P. 729–746 DOI: 10.1016/j.polymer.2008.11.037.
20. Гудь В. Н., Колупаев Б. С. ИК-спектроскопическое исследование воды сорбированной полимерами различной полярности // Пластические массы. 2011. № 3. С. 44–47.

Islamov Anvar Makhmutovich
candidate of technical sciences, senior lecturer
Email: iam16@yandex.ru
Fakhrutdinova Venera Khafizovna
candidate of chemical sciences, associate professor
Email: faxrutdinova1963@mail.ru
Abdrakhmanova Lyailya Abdullovna
doctor of technical sciences, professor
Email: laa@kgasu.ru
Kazan State University of Architecture and Engineering
The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1
Zakirova Kamila Il'gamovna
engineer
Email: kamilka.zakirova@mail.ru
LLC «Stroy Engineering»
The organization address: 445045, Russia, Togliatti, Yaroslavskaya st., 12

Surface modification of PVC by aqueous colloidal dispersion of graphene nanoplates

Abstract

Problem statement. In the work the authors investigated the possibility of using an aqueous colloidal dispersion of graphene nanoplates for surface modification of PVC and its effect on the properties of the resulting composites.

Results. It has been shown that as a result of diffusion impregnation of PVC in the colloidal dispersion of graphene nanoplastics to an optimal degree of swelling (0.17 %) and subsequent temperature exposure in the surface layers of composites, ordered structures are formed, which leads to an increase in surface microhardness (by 36 %), abrasion resistance (by 81 %), etc.

Conclusions. The significance of the results for the construction industry lies in the development of technological parameters for the diffusion modification of PVC to obtain products with enhanced surface properties and high resistance to various operational factors.

Keywords: polyvinylchloride, graphene nanoplates, diffusion, swelling, gradient.

For citation: Islamov A. M., Fakhrutdinova V. K., Abdrakhmanova L. A., Zakirova K. I. Surface modification of PVC by aqueous colloidal dispersion of graphene nanoplates // Izvestija KGASU. 2021. № 2 (56). P. 13–21. DOI: 10.52409/20731523_2021_2_13.

References

1. Abdrakhmanova L. A., Khatimirov A. G., Nizamov R. K., Khozin V. G. Wood-polymer nanomodified polyvinyl chloride building composites // Vestnik MGSU. 2018. Vol. 4. P. 426–434. DOI: 10.22227/1997–0935.2018.4.426-434.
2. Abdrakhmanova L. A., Khuziakhmetova K. R., Nizamov R. K., Khozin V. G. Modifiers for rigid PVC compositions for construction purposes. Stroitel'nye materialy. 2020. Vol. 12. P. 34–39. DOI: 10.31659/0585-430X-2020-787-12-34-39.
3. Sabbatini L. Polymer Surface Characterization. Berlin : De Gruyter, 2014. 308 p.
4. Wolf R.A. Plastic surface modification: surface treatment and adhesion. Munich : Carl Hanser Verlag, 2016. 244 p.
5. Mincheva R., Raquez J. M. The Surface of Polymers // Surface Modification of Polymers: Methods and Applications. 2019. Iss. 1. P. 1–30. DOI: 10.1002/9783527819249.ch1.
6. Grace J. M., Gerenser L. J. Plasma treatment of polymers // Journal of Dispersion Science and Technology. 2003. Vol. 24. Iss. 3-4. P. 305–341. DOI: 10.1081/dis-120021793.
7. Nazarov V. G. Surface modification of polymers. M. : MGUP, 2008. 474 p.
8. Kharitonov A. P., Kharitonova L. N. Surface modification of polymers by direct fluorination. A convenient approach to improve commercial properties of polymeric articles // Pure and Applied Chemistry. 2009. Vol. 81. Iss. 3. P. 451–471. DOI: 10.1351/pac-con-08-06-02.
9. Sacristán J., Reinecke H., Mijangos C. Surface modification of PVC films in solvent-non solvent mixtures // Polymer. 2000. Vol. 41. Iss. 15. P. 5577–5582. DOI: 10.1016/s0032-3861(99)00784-3.
10. Volynskiy A. L., Yarysheva A. Yu., Rukhlya E. G., Yarysheva L. M., Bakeev N. F. Specific features of structure and properties of solutions, melts and solid states of polymers in confined nanometric volumes // Uspekhi khimii. 2014. Vol. 83. Iss. 11. P. 1003–1026.
11. Paeng K., Richert R., Ediger M. D. Molecular mobility in supported thin films of polystyrene, poly (methyl methacrylate), and poly (2-vinyl pyridine) probed by dye reorientation // Soft Matter. 2012. Vol. 8. Iss. 3. P. 819–826. DOI: 10.1039/c1sm06501g.
12. Wilkes C. E., Daniels C. A., Summers J. W., Krauskopf L. G., Godwin A. PVC Handbook. Munich : Hanser Publications, 2005. 723 p.
13. Ivanchev S. S., Ozerin A. N. Nanostructures in polymer systems // Polymer Science Series B. 2006. Vol. 48. Iss. 4. P. 213–225. DOI: 10.1134/s1560090406070153.
14. Islamov A. M., Fakhrutdinova V. Kh. Surface modification of PVC by silica sol // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. № 890. 012083. DOI: 10.1088/1757-899X/890/1/012083.
15. Ahmed R. M., Ibrahiem A. A., El-Bayoumi A. S., Atta M. M. Structural, mechanical, and dielectric properties of polyvinylchloride/graphene nano platelets composites // International Journal of Polymer Analysis and Characterization. 2021. Vol. 26. Iss. 1. P. 68–83. DOI: 10.1080/1023666x.2020.1845493.
16. Mindivan F., Göktaş M., Dike A. S. Mechanical, thermal, and micro- and nanostructural properties of polyvinyl chloride/graphene nanoplatelets nanocomposites // Polymer CompositesVolume. 2020. Vol. 41. Iss. 9. P. 3707–3716. DOI: 10.1002/pc.25669.
17. Burakova E. A., Melezhik A. V., Gerasimova A. V. Obtaining stable dispersions of graphene nanoplates // Nauchno-tekhnicheskiye vedomosti CPbPU. Yestestvennyye i inzhenernyye nauki. 2018. Vol. 24. Iss. 4. P. 196–204.
18. Baltá Calleja F. J., Fakirov S. Microhardness of Polymers. New York : Cambridge University Press, 2000. 237 p.
19. Flores A., Ania F., Baltá-Calleja F. J. From the glassy state to ordered polymer structures: A microhardness study. 2009. Vol. 50. Iss. 3. P. 729–746 DOI: 10.1016/j.polymer.2008.11.037.
20. Gud' V. N., Kolupaev B. S. IR-spectroscopic study of water sorbed by polymers of different polarity // Plasticheskiye massy. 2011. Iss. 3. P. 44–47.

УДК 691.16

Литовченко Дмитрий Павлович
аспирант
Email: dmitrij.litovchenko.1996@mail.ru
Ширяев Артем Олегович
аспирант
Email: shiryaev.ao@mail.ru
Высоцкая Марина Алексеевна
кандидат технических наук, доцент
E-mail: roruri@rambler.ru
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова
Адрес организации: 308012, Россия, г. Белгород, ул. Костюкова, д. 46
Королев Евгений Валерьевич
доктор технических наук, профессор
Email: prorector.umr@spbgasu.ru
Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет
Адрес организации: 190005, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. 2-я Красноармейская, д. 4

Влияние совместимости полимера и пластификатора на показатели качества битумного вяжущего

Аннотация

Постановка задачи. Цель исследования – оценка влияния совместимости полимера и различных пластификаторов на показатели качества и стабильности во времени конечного продукта – полимерно-битумного вяжущего.

Результаты. На начальном этапе проведенных исследований определен базовый набор характеристик исходных материалов (битума и пластификатора). Управление структурообразованием исследуемых вяжущих осуществлялось посредством варьирования концентрации пластификатора, в качестве которого использовали: мазут, масло И-50, «Унипласт», экстракт селективной очистки масел, «Кэтгол». Исследование пластифицирующих добавок выполнялось на предмет летучести в диапазоне технологических температур приготовления полимерно-битумного вяжущего, показателей вязкости, также оценивался их групповой состав. В ходе выполнения эксперимента выявлена динамика изменения показателей свойств, модифицированных вяжущих, а также их термическая устойчивость, обусловленная составом пластификатора и его совместимостью с используемым полимером. Предложено исследовать совместимость компонентов: пластификатора и полимера, на подготовительном этапе, до приготовления лабораторных составов полимерно-битумного вяжущего. Разработаны рекомендации по применению пластификаторов для получения эффективных составов полимерно-битумных вяжущих. Изучен вклад совместимости системы «полимер-пластификатор» на устойчивость полимерно-битумного вяжущего к деструктивным процессам расслоения и старения.

Выводы. Значимость полученных результатов исследования для строительной отрасли обусловлена отсутствием единой нормативной базы, регламентирующей требования к пластификаторам для модифицирования битумных вяжущих, в том числе приготовления полимерно-битумного вяжущего. Проведенные исследования убедительно демонстрируют, что совместимость полимера и пластификатора оказывает решающее влияние на показатели качества модифицированных битумных вяжущих, однако данный аспект в настоящее время для рассматриваемых систем должным образом не изучен.

Ключевые слова: полимерно-битумное вяжущее (ПБВ), пластификатор, полимер, совместимость, битум нефтяной дорожный.

Для цитирования: Литовченко Д. П., Ширяев А. О., Высоцкая М. А., Королев Е. В. Влияние совместимости полимера и пластификатора на показатели качества битумного вяжущего // Известия КГАСУ. 2021. № 2 (56). С. 22–36. DOI: 10.52409/20731523_2021_2_22.

1. Введение

Активное развитие дорожной отрасли, обуславливает высокие требования к качеству сырьевых компонентов, обеспечивающих долговечность асфальтобетона в дорожном покрытии. Одним из основных направлений научного поиска в данной отрасли стало изучение влияния различных полимерных и пластифицирующих добавок на органические вяжущие [1-10] с целью повышения эксплуатационных свойств асфальтобетона посредством упрочнения его структуры.

Анализ научно-технической литературы свидетельствует о том, что модифицирование битума может осуществляться как одной, так и несколькими добавками [2, 5]. Однако при совместном введении необходимо учитывать их совместимость не только с битумом, но и друг с другом. В противном случае это может привести к их антагонистическому влиянию, и модифицирование битума будет не эффективным [3]. Таким образом, поиск эффективных добавок, разработка оптимальных рецептур комплексов добавок для модификации битума, а также анализ эффективности и целесообразности их совместного использования, начатые еще в прошлом столетии, остаются актуальными и сегодня.

Существуют различные структурные модели битума [4]. Наиболее распространенная модель описывает битум как коллоид, в котором компоненты большего размера свободно связаны друг с другом слабой водородной связью. Слабосвязанные звенья – мицеллы коллоидно рассеяны в сплошной среде из молекул меньшего размера. Мицеллы состоят в основном из молекул асфальтенов. Смолы адсорбируются на их внешней поверхности, и, таким образом, стабилизируют рассеивание в среде. В свою очередь, дисперсионная (масляная) среда состоит из фракций насыщенных углеводородов и ароматических соединений А и В, схематично это показано на рис. 1.

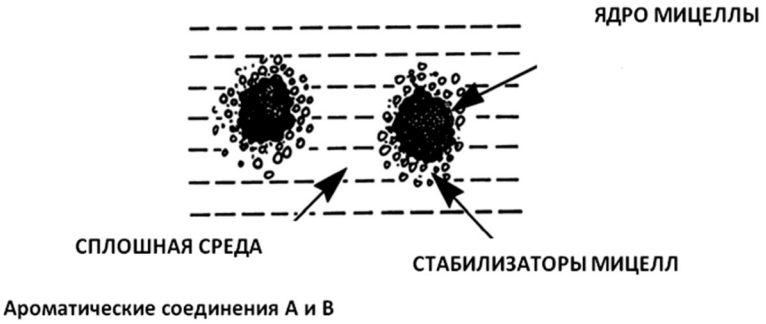


Рис. 1. Схематическое изображение коллоидной модели битума (структура коллоидного раствора) [4]

Существуют три структурных вида битумов: золь, золь-гель и гель. Битумы структуры золь характеризуются высоким содержанием асфальтенов, которые делают структуру жесткой и в то же время хрупкой. Структура «гель» представляет собой в основном смесь масел и смол и имеет жидкую консистенцию. Структура «золь-гель» является сбалансированной, сочетающей свойства золя и геля, и наиболее предпочтительной по физико-механическим характеристикам для производства ПБВ. Коллоидно-нестабильные битумы соответствуют «гелевой» структуре, где мицеллы слабо связаны, а, следовательно, имеют низкие значения пластичности и эксплуатационных характеристик. Эта мицеллярная структура легко разрушается при повышении температуры и сопровождается заметным увеличением текучести. Это приводит к тому, что синерезис, наблюдающийся в нефти, может происходить и в коллоидно-нестабильных битумах [5].

Для придания битуму, модифицированному полимером, способности в реальной эксплуатации дорожных покрытий удерживать растягивающие нагрузки без разрушения и для приготовления полимерно-битумного вяжущего целесообразно использовать нефтяные битумы с глубиной проникания иглы при 25 °С порядка 130-200 мм$^{-1}$ или 200-300 мм$^{-1}$.Однако, целевая задача нефтепереработки заключается в стремлении извлечь из нефти максимально возможное количество светлых (легких) фракций, с отнесением

битума к остаточному продукту. Таким образом, зачастую наблюдается тенденция получения битума с «гелевым» типом структуры, обогащенным асфальтенами, что негативно сказывается на качестве вяжущего. Остроту проблеме придает увеличение спроса на ПБВ в дорожном сегменте. Как известно [6], в технологии модифицирования битумов полимерами, асфальтены склонны конкурировать с полимерами за дисперсионную среду (мальтеновую часть) вяжущего, в которой и происходит процесс набухания. Итак, очевидно, что использование битума с низкой пенетрацией в технологии производства ПБВ, невозможно без пластификации для увеличения мальтеновой части, а, следовательно, растворяющей способности вяжущего [7].

В настоящее время выбор пластифицирующего компонента – ответственная задача, обусловленная обширностью рынка пластификаторов. Поэтому выбрать эффективный пластификатор, способствующий достижению проектных свойств вяжущего и асфальтобетона на его основе, весьма сложно.

Рассматривая детально влияние пластификатора на ПБВ, можно отметить, что обоснованный выбор пластификатора позволяет:

– обеспечить температуру приготовления модифицированного вяжущего не более 160°С;

– оптимизировать стоимость приготовления ПБВ за счет сокращения энергозатрат на разогрев ПБВ с увеличением эффективности от введения полимера;

– значительно расширить интервал пластичности модифицированного вяжущего за счет повышения температуры хрупкости ПБВ до -46°С, используя минимальное количество полимера [8-9].

Несмотря на неоспоримые преимущества от применения пластификаторов и их влияния как на свойства ПБВ, так и конечного продукта – асфальтобетона в покрытии автомобильных дорог, в настоящее время нормативные документы, регламентирующие применение, требования к пластификаторам и их свойства, не разработаны. В связи с этим, опираясь на отраслевой опыт и критический анализ научно-технической литературы, в работе были сформулированы требования, которым, на взгляд авторов, должен соответствовать пластификатор для модифицирования битумных вяжущих:

– иметь высокую температуру кипения и температуру вспышки;

– характеризоваться малыми потерями при прогреве, быть нелетучим;

– отсутствием резкого запаха;

– быть совместимым с компонентами системы и эффективно ее пластифицировать;

– иметь класс опасности III или IV.

Очевидно, что совместимость полимера и пластификатора является важным критерием при выборе компонентного состава полимерно-битумного вяжущего. Известные методики, используемые в химических отраслях, объективно свидетельствуют о коллоидной устойчивости конечного продукта [11] при соблюдении условий совместимости компонентов.

Однако в дорожной отрасли ни одна из методик предварительной оценки совместимости полимера и пластификатора не нашла применения на практике. Используется, и то ограничено, методика оценки устойчивости к расслоению, но уже конечного продукта – ПБВ. В соответствии с методикой тестирования, только процесс термостатирования проб занимает 72 часа, не считая времени на подбор, приготовление и испытание лабораторной пробы на этапе разработки состава ПБВ.

В связи с вышеизложенным, главной целью работы стало исследование совместимости полимера и пластификатора и оценка ее влияния на показатели качества модифицированного битумного вяжущего.

При выполнении исследования решались следующие задачи:

- анализировались известные методики оценки совместимости полимера и пластификатора в различных отраслях знаний;

- изучались показатели свойств пластифицирующих компонентов, используемых в дорожно-строительной отрасли;

- изготавливались двухфазные системы «полимер – пластификатор» для оценки их совместимости;

- изучалось влияние двухфазной системы «полимер – пластификатор» на физико-механические показатели полимерно-битумного вяжущего марки 90 (ПБВ 90).

2. Материалы и методы

В представленной работе рассматривалась линейка пластификаторов, представленная в табл. 1. В качестве полимера использовали СБС Л 30-01А.

Таблица 1

Используемые в работе пластификаторы

№ образца пластификатора	Наименование пластификаторов
1	Мазут
2	Масло И 50
3	«Унипласт»
4	Экстракт селективной очистки (ЭСО)
5	«Кэтгол»

Исходя из совокупности обозначенных ожиданий, линейка потенциальных пластификаторов была проанализирована через призму сформулированных требований.

Современный уровень техники в различных отраслях демонстрирует следующие методики оценки совместимости пластификатора и полимера, как основного фактора, отображающего эффективность состава полимерных композиций:

– Термодинамические критерии совместимости. Являются наиболее распространёнными для оценки совместимости системы «полимер-пластификатор» и основываются на вычислении изобарно-изотермического потенциала (свободной энергии Гиббса) [11]:

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

где ΔG – изменение изобарно-изотермического потенциала (степень совместимости);
ΔH – изменение энтальпии;
ΔS –изменение энтропии;
T – температура.

Критерием для оценки степени совместимости полимера и пластификатора является знак и значение изобарно-изотермического потенциала:

- при $\Delta G < 0$ при исследуемых (заданных) температуре и давлении (T, $P = const$) в системе протекает самопроизвольный процесс, указывающий на взаимодействие ее компонентов (пластификатора и полимера);

- при $\Delta G > 0$ в системе не протекает самопроизвольный процесс.

Из формулы (1) следует, что достижение $\Delta G < 0$ возможно в 2 случаях: $\Delta H < 0$, но при этом $T\Delta S > 0$ или $T\Delta S > \Delta H$.

– Физические методы оценки совместимости полимера и пластификатора [11]:

1. Деформационный метод заключается в исследовании температуры стеклования системы в зависимости от концентрации и вида пластификатора и полимера.

2. Метод диэлектрической спектроскопии заключается в сравнении спектра исследуемого пластификатора со спектром системы «полимер-пластификатор».

3. Акустический метод рассматривает значение экстремума на кривой зависимости скорости звука, изменяющегося от вида и содержания пластификатора в системе, которое используется в качестве критерия придела совместимости компонентов системы, измеренное при температуре стеклования полимерной композиции.

4. Метод калориметрии заключается в исследовании времени кристаллизации пластификатора. Возможен к использованию, если пластификатор кристаллизуется. В этом случае за характеристику совместимости полимера с низкомолекулярным веществом рассматривается отношение времени кристаллизации системы ко времени кристаллизации пластификатора. При совместимости компонентов время кристаллизации смеси больше, чем у исходного полимера.

Существует мнение, что качество битума не является ключевым параметром, определяющим характер модифицирующего действия полимера. В этом случае, основополагающими факторами выступает химический состав мальтеновой части битума и

его структура. Логично, что принудительное введение пластификатора в состав битума при модифицировании нацелено на увеличение его мальтеновой части. В связи с этим, для оценки эффективности пластифицирующего компонента необходимо располагать данными о его составе и потенциальной реакции на высокие технологические температуры.

Первый этап эксперимента базировался на изучении характеристик, принятых к исследованию пластификаторов для приготовления ПБВ:

– изменение массы после прогрева при 165 °С в течение 5 часов;

– анилиновая точка, характеризующая содержание предельных углеводородов (парафинов);

– визуальная оценка гомогенности полимерной дисперсии в пластификаторе методом флуоресцентной микроскопии;

– групповой химический состав пластификаторов.

Показатели свойств пластификаторов представлены в табл. 2.

Таблица 2

Показатели свойств пластификаторов

№ п/п	Образец	Анилиновая точка, °С	Изменение массы пластификатора после 5 часов прогрева при 165°С, %
1.	Мазут	57,7	3,4
2.	Масло И-50	> 100,0	7,8
3.	Унипласт	< 30,0	5,1
4	ЭСО	40,6	2,3
5.	Кэтгол	< 30,0	94,3

По мнению, изложенному в [3], использование в качестве исходных компонентов ароматических соединений для модифицирования битумов полимерами, способствует получению совместимых композиций. Известно [12], что способность анилина растворять группы углеводородов различна: чем выше анилиновая точка [12], тем более парафинсодержащим является нефтепродукт, т.е. тем выше содержание в нем предельных углеводородов; чем ниже величина показателя, тем больше в нем ароматических углеводородов; промежуточное значение занимают нафтеновые и непредельные углеводороды. В свою очередь [13], парафины оказывают негативное влияние на низкотемпературные характеристики ПБВ. Можно предположить, что этот оперативный метод, подходящий для маловязких, светлых, маслянистых веществ, может быть применим для оценки пластификаторов битума на начальном этапе исследований. Диапазон температуры определения анилиновой точки составляет от 30 до 100 °С. Полученные результаты (табл. 2) свидетельствуют, что из серии рассматриваемых пластификаторов, два из них – ЭСО и мазут – содержат ароматические углеводороды. Значение анилиновой точки для масла И-50 свидетельствует о значительном содержании парафинов, которые негативно отражаются на физико-механических показателях ПБВ [4]. Определение анилиновой точки для пластификаторов «Кэтгол» и «Унипласт» демонстрирует предел, выходящий за диапазон чувствительности метода, можно предположить, что это связано с тем, что в составе данных пластификаторов отсутствуют ароматические углеводороды и парафины. Достоверно судить об этом возможно только после сравнительного анализа с данными, полученными по групповому составу пластификаторов.

Также данные, приведенные в табл. 2, демонстрируют различную реакцию пластификаторов на термостатирование при температуре 165 °С в течении 5 часов. Так, изменение массы пластификатора «Кэтгол» составило 94,3 %, что характеризует его как высоколетучий, и очевидно может повлечь за собой определенные сложности при приготовлении ПБВ. Величина этого свойства для других пластификаторов находится в соизмеримом диапазоне и может характеризовать их как малолетучие, это дает возможность предположить, что модифицированные вяжущие, приготовленные с их использованием, должны быть менее подвержены потере массы в процессе термостатирования, а, следовательно, и менее подвержены старению.

Для детального понимания природы используемых пластификаторов на следующем этапе был определен их групповой состав методом SARA-анализа (табл. 3).

Таблица 3

Групповой состав пластификаторов

Наименование пластификатора	Насыщенные углеводороды, %	Ароматические углеводороды, %	Смолы, %	Асфальтены, %
Мазут	12,1	38,2	24,3	25,4
Масло И 50	72,74	19,31	7,95	0
«Унипласт»	0	0	100	0
ЭСО	17,97	64,47	17,57	0
«Кэтгол»	0	0	100	0

Результаты, представленные в табл. 3, свидетельствуют, что рассматриваемые пластификаторы значительно отличаются между собой по групповому химическому составу. Так, мазут по групповому химическому составу наиболее близок к битуму и содержит значительное количество асфальтенов. Наибольшее содержание ароматических углеводородов наблюдается в составе ЭСО. Необходимо отметить, что максимальное количество насыщенных углеводородов содержится в составе масла И-50. Наибольший интерес, в данном случае, представляют пластификаторы «Унипласт» и «Кэтгол». Как видно, эти пластификаторы представлены моносоставом, а именно смолами. Как и предполагалось, в их составе отсутствуют ароматические углеводороды, что позволяет утверждать, что методика определения «анилиновой точки» может быть использована, как первичный экспресс метод оценки эффективности и пригодности пластификаторов для приготовления ПБВ.

В соответствии с технологическими переделами при производстве ПБВ выделяется два основных этапа: эмульгирование полимера в расплаве битума, посредством коллоидной мельницы, с последующим его набуханием в мальтеновой среде. Можно предположить, что в данном случае, справедливо говорить, прежде всего, о совместимости на уровне двухфазных структур «полимер – мальтеновая среда» [14]. В таком случае закономерно, если полимер легко растворяется в используемом пластификаторе, то и при комплексном модифицировании битума полимером с использованием пластификатора будет наблюдаться совмещение полимерной модифицирующей и пластифицирующей добавок [15, 16].

Для подтверждения выдвинутой гипотезы были приготовлены двухфазные системы – концентраты, состоящие из исследуемых пластификаторов и полимера. Приготовление концентратов выполнялось посредством смешивания компонентов в лабораторной высокоскоростной мешалке IKA. Пластификатор и полимер смешивали при температуре 165 °С. Указанная температура с помощью термопары фиксировалась и постоянно поддерживалась. При постановке эксперимента температура была постоянной, варьировалась продолжительность перемешивания, корректировка которой проводилась в зависимости от интенсивности растворения полимера типа СБС Л 30-01А. Гомогенность смеси определялась визуально с использованием стеклянной палочки.

Упрощенно, если полимер легко растворялся в пластификаторе, т.е. совмещался с пластификатором при малых термодинамических воздействиях, считалось, что полимер имеет сродство с пластификатором. Немаловажным фактором, определяющим совместимость полимера и пластификатора, является параметр взаимодействия *x*, который определяется из формулы [11]:

$$\frac{1}{T_m} = 0.002226 + 0.1351\frac{1-|X|}{V_1}, \quad (2)$$

$$|X| = \frac{0{,}002226V_1 + 0.1351 - \frac{V_1}{T_m}}{0.1351}, \quad (3)$$

где $|X|$ – параметр совместимости полимера и пластификатора (значение показателя было принято в работе по модулю).

T_m – температура взаимодействия, т.е. растворение полимера;

V_1 – молярный объем пластификатора.

Таким образом, опираясь, на имеющийся межотраслевой опыт по оценке совместимости полимера и пластификаторов была поставлена и выполнена серия экспериментов, представленных ниже.

На основе приготовленных концентратов по идентичной методике выполнялось приготовление ПБВ 90. Для всех составов было принято постоянное соотношение «пластификатор – полимер – битум», а также использован один технологический режим, который предусматривал перемешивание на высокоскоростной мешалке IKA при температуре 165 °С в течение 1 часа.

Правомерность выдвинутой гипотезы о влиянии совместимости полимера и пластификатора на физико-механические показатели ПБВ базировалась на основе сопоставительного анализа коэффициентов совместимости двухфазной системы «полимер – пластификатор» и обобщенных коэффициентов эффективности полученных составов ПБВ 90, рассчитанных методом многокритериальной оптимизации [17]. В его основе лежит оценка частных критериев эффективности – эксплуатационных свойств ПБВ, характеризующих их качество и соответствие требованиям нормативных документов.

При расчете критериев эффективности и обобщенного коэффициента эффективности ПБВ использовались формулы, приведенные ниже:

$$K^{i}_{\text{эф}} = \frac{З^{i}_{\text{пок.}}}{З^{i}_{\text{ГОСТ}}}, \quad (4)$$

где $K^{i}_{\text{эф.}}$ – частный критерий эффективности *i*-го показателя;

$З^{i}_{\text{пок.}}$ – фактическое значение *i*-го показателя;

$З^{i}_{\text{ГОСТ}}$ – требуемое значение *i*-го показателя.

Формула (5) справедлива в случае анализа показателей с обратной зависимостью $K_{изм.м}$ и $K_{ст}$, – в которых наименьшее значение параметра свидетельствует о качестве продукта:

$$K^{i}_{стаб} = \frac{З^{i}_{ГОСТ}}{З^{i}_{пок.}}, \quad (5)$$

где $K^{i}_{\text{эф.}}$ – частный критерий эффективности *i*-го показателя;

$З^{i}_{\text{пок.}}$ – фактическое значение *i*-го показателя;

$З^{i}_{\text{ГОСТ}}$ – требуемое значение *i*-го показателя.

В основу расчета обобщенного критерия эффективности для каждого состава ПБВ была положена база частных критериев эффективности:

$$K^{об.}_{эф} = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^{n} K^{i}_{эф}}, \quad (6)$$

где $K^{об}_{эф.}$ – обобщенный критерий эффективности *i*-го показателя;

$K^{i}_{эф.}$ – частный критерий эффективности *i*-го показателя.

3. Результаты

В соответствии с намеченными задачами на первом этапе исследования, варьируя продолжительностью перемешивания, оценивали эффективность растворения полимера в различных пластификаторах (табл. 4).

Таблица 4

Время растворения полимера в пластификаторе при температуре 165 ºС

№ п/п	Наименование пластификатора	Продолжительность растворения, мин.
1	мазут М200	85
2	масло И-50	130
3	«Унипласт»	115
4	ЭСО	70
5	«Кэтгол»	155

В процессе приготовления двухфазных систем тщательно фиксировались любые изменения их физического состояния, описание каждого концентрата представлено ниже:

– концентрат «Унипласт + полимер» имеет резкий запах; перемешивание затруднительно с образованием сверху полимерной корки; продолжительность перемешивания до видимого растворения составило 1 час 55 минут.

– концентрат «масло И-50 + полимер», пластификатор быстро впитался в полимер; было зафиксировано набухание полимера с увеличением его объёма; после 30 минут перемешивания в сушильном шкафу началось активное плавление набухшего полимера. Общая продолжительность растворения составила 2 часа 10 минут. Конечный концентрат является однородным и высоковязким, образец не прилипает к поверхности, не оставляет жирных следов.

– концентрат «Кэтгол + полимер», смешивание произошло частично в течение 2 часов 35 минут; процесс перемешивания сопровождался сильным испарением пластификатора и едким запахом. В виду интенсивного испарения пластификатора, далее эксперимент был остановлен.

– концентрат «ЭСО + полимер», растворение полимера произошло в течение 1 часа 10 минут; образец характеризовался однородной структурой.

– концентрат «Мазут + полимер», система была высоковязкой; полимер набухал медленно, однако через 1 час 25минут полимер полностью растворился.

На основании выполненного эксперимента можно заключить, что использующиеся в работе пластификаторы характеризуются различной растворяющей способностью. Совокупный анализ растворяющей способности пластификаторов и их групповой анализ показал, что наличие в составе пластификатора смол и предельных углеводородов значительно увеличивает продолжительность приготовления концентрата. Минимальное время на растворение полимера понадобилось при использовании пластификаторов ЭСО и мазута, характеризующихся наличием ароматических соединений, и минимальным содержанием предельных углеводородов.

На данном этапе исследования было определено, что наиболее перспективными для приготовления в дальнейшем ПБВ, могут быть пластификаторы ЭСО и мазут.

Полученные экспериментальные данные также коррелируют с численной оценкой совместимости двухфазных систем «полимера – пластификатор», базирующейся на термодинамическом подходе определения совместимости, используемом в полимерной промышленности, формулы (2)-(3).

Для определения необходимых величин также был проведен обратный эксперимент, когда за константу принималась продолжительность перемешивания двухфазной системы, вариативным параметром выступала температура, которую подбирали экспериментально. Также был определен молярный объём каждого пластификатора. Полученные значения коэффициента совместимости двухфазной системы представлены в табл. 5.

Таблица 5

Оценка совместимости двухфазной системы «полимер – пластификатор»

Наименование показателя	Наименование пластификатора				
	мазут	ЭСО	масло И-50	«Унипласт»	«Кэтгол»
Параметр совместимости	4,0	3,7	2,9	2,8	2,7

В соответствии с [11], пластификаторы для полимерной промышленности было предложено разделить на две группы в зависимости от параметра X: пластификаторы, способствующие набуханию ($-0{,}12 \leq X \leq +0{,}55$) и пластификаторы, способствующие растворению ($X \leq -0{,}15$).

Таким образом, на этапе исследования концентратов, наиболее перспективными пластификаторами являются мазут и ЭСО.

Реализация и подтверждение выявленных закономерностей была осуществлена на втором этапе исследовательской работы при приготовлении составов модифицированного битумного вяжущего ПБВ 90 с использованием полученных ранее концентратов. Концентрация вводимых двухфазных систем «полимер-пластификтор» составляла 10,5 %, дополнительно для мазута 15 %.

Приготовленные составы ПБВ были протестированы в соответствии с требованиями ГОСТ 52056. Полученные результаты представлены в табл. 6.

Таблица 6

Влияние двухфазной системы «полимер – пластификатор» на физико-механические показатели ПБВ 90

Наименование показателя	Требование ГОСТ	Наименование пластификатора						
		-	Мазут		масло И-50	«Унипласт»	ЭСО	«Кэтгол»
			10,5 %	15,0 %				
Глубина проникания иглы 0,1 мм: 25 °С 0 °С	91-130	67	70	93	99	107	104	110
	не менее 40	23	31	44	49	41	43	52
Растяжимость, см: 25°С, 0°С,	не менее 30	≥150	63,7	65,7	60,3	68,8	73,4	61,8
	не менее 15	-	23,4	45,1	17,8	43,7	44,3	40,1
Температура, °С: размягчения	не менее 51	54	65,3	66,5	69,4	61,1	65,0	60,4
хрупкости по Фраасу	не выше -25	-18	-21	-25	-27	-21	-26	-25
Эластичность, %: 25°С 0°С	не менее 85	–	92	98	92	95	96	95
	не менее 75	–	68	77	70	79	78	78
Изменение массы после прогрева, %	не более 1	0,34	0,54	0,61	1,98	0,67	0,45	4,66
Температура вспышки, °С	220 не ниже	268	288	290	274	276	279	258

Анализ табл. 6 демонстрирует, что все пластификаторы вносят вклад в изменение физико-механических свойств модифицированного битума. Благодаря введению пластификатора в битум происходит обогащение вяжущего ароматическими углеводородами, за счет чего можно значительно увеличить диапазон варьирования эксплуатационных факторов ПБВ относительно исходного битума [15, 18-19]. Однако, не все пластификаторы обеспечивают модифицирование вяжущего с совокупностью желаемых (проектируемых) свойств. Более того, состав модифицированного битумного вяжущего, выполненный без пластификатора, не достигает проектной марки ПБВ 90. Как видно, при использовании двухфазной системы, выполненной на мазуте, при прочих равных условиях, достичь показателя свойств ПБВ 90 также не представилось возможным, очевидно, что для получения ПБВ проектной марки необходимо в первом случае наличие пластификатора, а во втором – увеличение его содержания.

Можно предположить, что это связано с повышенным содержанием асфальтенов в составе мазута. Как следует из табл. 3, мазут – единственный пластификатор, содержащий асфальтены, очевидно, в совокупности с полимером, образующий плотную эластомерную сетку, распределенную в битуме и обусловленную тем, что полимер при контакте с вяжущим абсорбирует практически все его компоненты [20-22], за исключением асфальтенов.

Значительный интерес представляют не столько показатели свойств приготовленных ПБВ с использованием концентратов, сколько их вклад в формирование устойчивой несклонной к деструктивным процессам структуры. Интенсивность деструктивных процессов модифицированных вяжущих исследовалась по изменению массы образцов после прогрева (табл. 6) и термостабильности ПБВ согласно EN 13399, (рис. 2).

В соответствии с полученными данными, наибольшее изменение массы образцов ПБВ после термостатирования наблюдается у образцов, выполненных на пластификаторах (в порядке убывания): Кэтгол и Масло И-50. Эти же пластификаторы характеризовались максимальной величиной изменения массы пластификатора после прогрева.

Очевидно, что устойчивость дисперсных систем, как коллоидов, к которым относятся битумы, зависит от степени взаимодействия мальтеновой среды и дисперсной фазы модифицированных вяжущих. В случае неустойчивости, системы стремятся к

разделению фаз, что наглядно прослеживается при изучении расслоения [23] системы после прогрева в тубе, по разности температур размягчения между верхней и нижней частью образца ПБВ (рис. 3). Результаты по расслоению систем, выполненных с использованием двухфазных концентратов на основе мазута и ЭСО, выстраиваются в логическую цепочку полученных закономерностей по влиянию совместимости полимера и пластификатора на физико-механические показатели ПБВ.

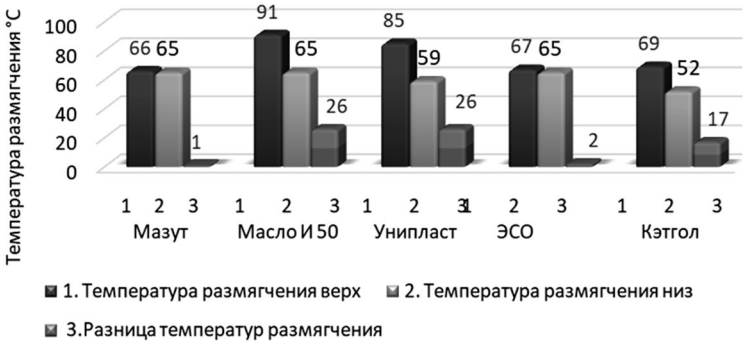


Рис. 2. Стабильность битумного вяжущего
при хранении в течение 72 часов при температуре 185 °С (иллюстрация авторов)

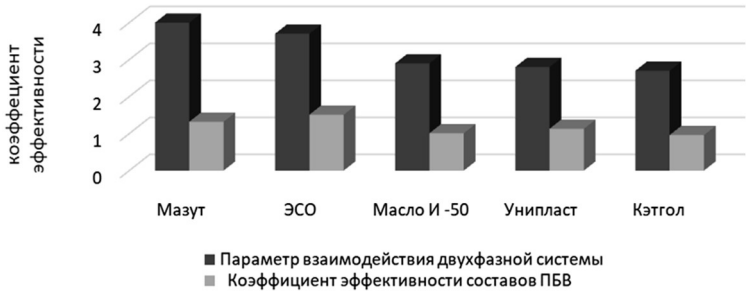


Рис. 3. Показатели обобщенных критериев эффективности для составов ПБВ 90
и параметра совместимости двухфазной системы «полимер – пластификатор» (иллюстрация авторов)

4. Обсуждение

Несмотря на важность рассматриваемой проблематики для дорожно-строительной отрасли в целом, ни одна из методик предварительной оценки совместимости полимера и пластификатора не нашла применения на практике.

При этом если проанализировать полученные в процессе исследования результаты (табл. 7, рис. 3), можно отметить зависимость эффективности полученных составов ПБВ от совместимости системы «полимер – пластификатор».

Таблица 7

Частные критерии эффективности для ПБВ-90, зависимые от вида пластификатора

Наименование показателя	Наименование пластификатора				
	ЭСО	«Кэтгол»	«Унипласт»	Масло И-50	Мазут
Глубина проникания иглы	1,16	1,22	1,19	1,10	0,78
Глубина проникания иглы	1,08	1,30	0,98	1,23	0,78
Растяжимость	2,45	2,06	2,29	2,01	2,12
Растяжимость	2,95	2,67	2,91	1,19	1,56
Температура размягчения по кольцу и шару	1,27	1,18	1,20	1,36	1,28
Температура хрупкости по Фраасу	1,04	1,00	0,84	1,08	0,84
Эластичность при 25°С	1,13	1,12	1,12	1,08	1,08
Эластичность при 0°С	1,04	1,04	1,05	0,93	0,91
Вспышка	1,27	1,17	1,25	1,25	1,31
Изменение массы после прогрева, %	2,22	0,21	1,49	0,50	1,81
Стабильность в тубах	2,5	0,29	0,19	0,19	5,00

Сопоставление результатов расчета обобщенных критериев эффективности для составов ПБВ 90 и коэффициентов совместимости двухфазной системы «полимер – пластификатор» представлены на рис. 3.

Несмотря на то, что применению битумных вяжущих, модифицированных полимером, предшествует технико-экономическое обоснование, что сопряжено с увеличением его стоимости относительно базового битума [7-9], отраслевых работ, посвященных поднятой проблематике, практически нет. Это обуславливает необходимость разработки лабораторного инструментария на стадии подбора состава ПБВ, позволяющего в короткие сроки с высокой достоверностью получать информацию о возможных деструктивных процессах модифицированного вяжущего на различных этапах его жизненного цикла для минимизации производственных издержек и возможности исполнения подрядчиком гарантийных обязательств.

5. Заключение

1. Выявлена проблема несовершенства методологического подхода к выбору пластификаторов для модифицирования битумных вяжущих и оценки их совместимости с битумом и полимером, что является актуальной производственной задачей.

2. Установлено, что на этапе оценки исходных характеристик сырьевых компонентов (полимера, пластификаторов) и их совместимости по изучению двухфазных систем, можно дать прогноз эффективности работы битумного вяжущего, модифицированного полимером.

3. Показано, что совместимость полимера и пластификатора является ключевым управляющим фактором в формировании полимерно-битумной матрицы, устойчивой к деструктивным процессам, определяющей эффективность физико-механических показателей ПБВ.

Список библиографических ссылок

1. Kataware A. V., Singh D. E. Evaluating effectiveness of WMA additives for SBS modified binder based on viscosity, Superpave PG, rutting and fatigue performance // Construction and Building Materials. 2017. Vol. 146.P. 436-444. DOI: 10.1016/j.conbuildmat. 2017.04.043.
2. Калинина М. О. Применение инновационных материалов в дорожном строительстве: сб. ст. победителей 3-й Международной научно-практической конференции – Современные технологии: актуальные вопросы, достижения и инновации / Пензенский государственный университет архитектуры и строительства. Пенза, 2016. С. 19–22.
3. Тюкина П. М. Закономерности влияния состава пластификатора на эластичность и когезионную прочность полимерно-битумных вяжущих // Нефтеперерабатывающая и нефтехимическая промышленность. 2008. № 2. С. 12–16.
4. Сапов А. В., Зимнухов А. Н., Ярцев В. П. Структура и эксплуатационные характеристики битумов // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В. И. Вернадского. 2017. № 2. С. 180–186.
5. Блажеёвский К., Ольшацкий Я., Печаковский Х. Битумный справочник. П. : ОРЛЕН Асфальт, 2014. 142 с.
6. Litovchenko D. P., Shiryaev A. O., Vysotskaya M. A., Lashin M. V. Use of plasticizers in the production of PMB, as a tool for creating effective binders // Scopus, CTESiberia. 2019. DOI: 10.1051/e3sconf/202015706034.
7. Гохман Л. М., Гурарий Е. М., Давыдова А. Р., Давыдова К. И. Полимерно-битумные вяжущие материалы на основе СБС для дорожного строительства. Обзорная информация. М. : Информавтодор, 2002. 112 с.
8. Киндеев О. Н., Высоцкая М. А., Шеховцова С. Ю. Влияние вида пластификатора на свойства битума и полимерно-битумных вяжущих // Вестник Белгородского

государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2016. № 1. С. 26–30.
9. Santagata E., Baglieri O., Dalmazzo D., Tsantilis L. Experimental investigation on the combined effects of physical hardening and chemical ageing on low temperature properties of bituminous binders // RILEM Bookseries. 2016. Vol. 11. P. 631–641. DOI: 10.1007/978-94-017-7342-3_51.
10. Galeev, R., Nizamov, R., Abdrakhmanova, L., Khozin, V.: Resource-saving polymer compositions for construction purposes. In: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (2020). DOI: 10.1088/1757-899X/890/1/012111.
11. Барштейн Р. С., Кирилович В. И., Носовский Ю. Е. Пластификаторы для полимеров. М. : Химия, 1982. 200 с.
12. Перельман В. И. Краткий справочник химика. М. – Л. : Химия, 1964. 620 с.
13. Шыхалиев К. С. Модификация нефтяного дорожного битума полимерными отходами // Точная наука. 2017. № 6. С. 18–46.
14. Загородняя А. В. Исследование кинетики и механики растворения полимера типа СБС в низкомолекулярных жидкостях // Научный вестник государственного образовательного учреждения луганской народной республики «Луганский национальный аграрный университет». 2019. № 6-1. С. 254–261.
15. González O., Peña J. J., Muñoz M. E. RheologicalTechniquesasaTooltoAnalyzePolymer-BitumenInteractions: Bitumen Modified with Polyethylene and Polyethylene-Based Blends // Energy and Fuels. 2002. Vol. 16. №. 5. P. 1256–1263.
16. Фролов В. А., Беляев П. С., Макеев П. В., Беляев В. П., Шашков И. В. Взаимодействие компонентов модифицирующей добавки в процессе получения полимерно-битумного вяжущего // Вестник Тамбовского государственного технического университета. 2020. Т. 26. № 2. С. 284–292.
17. Иноземцев А. С., Королев Е. В. Многокритериальная оптимизация для оценки технико-экономической эффективности модифицирования высокопрочных легких бетонов на полых алюмосиликатных микросферах // Международный научно-исследовательский журнал. 2017. Т. 11. Вып. 4. С. 55–60. DOI: 10.18454/IRJ.2016.53.201.
18. Upadhyay S., Mallikarjunan V., Subbaraj V. K., Varughese S. Swelling and diffusion characteristics of polar and nonpolar polymers in asphalt // Journal of Applied Polymer Science. 2008. Т. 109. № 1. P. 135–143.
19. Беляев П. С., Полушкин Д. Л., Макеев П. В., Фролов В. А. Модификация нефтяных дорожных битумов полимерными материалами для получения асфальтобетонных покрытий с повышенными эксплуатационными характеристиками // Вестник Тамбовского государственного технического университета. 2016. Т. 22. № 2. С. 264–271.
20. Kumar K., Singh A., Maity S. K., Srivastava M., Sahai M., Singh R. K., Garg M. O. Rheological studies of performance grade bitumens prepared by blending elastomeric SBS (styrene butadiene styrene co-polymer in base bitumens // Journal of Industrial and Engineering Chemistry. 2016. Vol. 44. P. 112–117. DOI: 10.1016/j.jiec.2016.08.017.
21. Zainab H., N., Kamaruddin, I., Tan I. M., Komiyama M. Investigation on the effect of phase segregation on the mechanical properties of polymer modified bitumen using analytical and morphological tools // International Conference on Advances in Sustainable Construction Materials and Civil Engineering Systems. 2017. DOI: 10.1051/matecconf/201712007002.
22. Fernandes S. R. M., Silva H. M. R. D., Oliveira J. R. M. Developing enhanced modified bitumens with waste engine oil products combined with polymers // Construction and Building Materials. 2018. Vol. 160. P. 714–724. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2017.04.014.
23. Zani L., Giustozzi F., Harvey J. Effect of storage stability on chemical and rheological properties of polymer-modified asphalt binders for road pavement construction. // Construction and Building Materials. 2017. Vol. 145. P. 326–335. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2017.04.014.

Litovchenko Dmitry Pavlovich.
post-graduate student
Email: dmitrij.litovchenko.1996@mail.ru
ShiryaevArtemOlegovich
post-graduate student
Email:shiryaev.ao@mail.ru
Vysotskaya Marina Alekseevna
candidate of Technical Sciences, Associate Professor.
Email: roruri@rambler.ru
Belgorod State Technological University named after V. G. Shukhov
The organization address: Russia 308012, Belgorod region, Belgorod, Kostyukovst., 46
KorolevEvgenyValeryevich
doctor of technical sciences, professor
Email: prorector.umr@spbgasu.ru
Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering
The organization address: Russia, 190005, St. Petersburg, 2-nd Krasnoarmeyskaya st., 4

Influence of polymer and plasticizer compatibility on the quality indicators of bituminous binder

Abstract

Problem statement. The aim of the study is to assess the effect of the compatibility of the polymer and various plasticizers on the quality and stability indicators overtime of the final product – polymer-bitumen binder (PBB).

Results. At the initial stage of the research, the basic set of characteristics of the starting materials (bitumen and plasticizer) was determined. The structure formation of the studied binders was controlled by varying the concentration of the plasticizer, which was used as mazut, I-50 oil, Uniplast, extract of selective oil refining (ESP), Catgol. The study of plasticizing additives was carried out for volatility in the range of technological temperatures for the preparation of PMB, viscosity indicators, and their group composition was also evaluated.

In the course of the experiment, the dynamics of changes in the indicators of the properties of modified binders, as well as their thermal stability, due to the composition of the plasticizer and its compatibility with the polymer used, were revealed. It is proposed to investigate the compatibility of the components: plasticizer and polymer, at the preparatory stage, before the preparation of laboratory formulations of PBB. Recommendations have been developed for the use of plasticizers to obtain effective compositions of polymer-bitumen binders. The contribution of the compatibility of the «polymer-plasticizer» system to the stability of PBB to destructive processes of separation and ageing has been studied.

Conclusions. The significance of this topic is also because at present there is no single regulatory documentation governing the requirements for plasticizers for modifying bituminous binders, including the preparation of PMB. The studies carried out convincingly demonstrate that the compatibility of the polymer and the plasticizer has a decisive influence on the quality indicators of modified bituminous binders; however, this aspect has not been properly studied for the systems under consideration.

Keywords: polymer-bitumen binder, plasticizer, polymer, compatibility, oil road bitumen.

For citation: Litovchenko D. P., Shiryaev A. O., Korolev E. V., Vysotskaya M. A. Influence of polymer and plasticizer compatibility on the quality indicators of bituminous binder // Izvestija KGASU. 2021. № 2 (56). С. 22–36. DOI: 10.52409/20731523_2021_2_22.

References

1. Kataware A. V., Singh D. E. Evaluating effectiveness of WMA additives for SBS modified binder based on viscosity, Superpave PG, rutting and fatigue performance // Con-struction and Building Materials. 2017. Vol. 146. P. 436-444. DOI: 10.1016 / j.conbuildmat.2017.04.043.
2. Kalinina MO Application of innovative materials in road construction: collection of articles. Art. winners of the 3rd International Scientific and Practical Conference – Modern Technologies: Topical Issues, Achievements and Innovations / Penza State University of Architecture and Construction. Penza, 2016. P. 19–22.
3. Tyukina PM Regularities of the influence of the composition of the plasticizer on the elasticity and cohesive strength of polymer-bitumen binders // Oil processing and petrochemical industry. 2008. № 2. P. 12–16.
4. Sapov A. V., Zimnukhov A. N., Yartsev V. P. Structure and operational characteristics of bitumen // Questions of modern science and practice. University named after V.I. Vernadsky. 2017. № 2. P. 180–186.
5. Blazheevsky K., Olshatsky J., Pechakovsky H. Bituminous handbook. P. : ORLEN Asphalt, 2014. 142 p.
6. Litovchenko D. P., Shiryaev A. O., Vysotskaya M. A., Lashin M. V. Use of plasticiz-ers in the production of PMB, as a tool for creating effective binders // Scopus, CTESiberia. 2019. DOI: 10.1051/e3sconf/202015706034.
7. Gokhman L. M., Gurariy E. M., Davydova A. R, Davydova K. I. Polymer-bitumen binders based on SBS for road construction. Survey information. M. : Informavtodor, 2002. 112 p.
8. Kindeev O. N., Vysotskaya M. A., Shekhovtsova S. Yu. Influence of the type of plasticizer on the properties of bitumen and polymer-bitumen binders // Bulletin of the Belgorod State Technological University V.G. Shukhov. 2016. № 1. P. 26–30.
9. Santagata E., Baglieri O., Dalmazzo D., Tsantilis L. Experimental investigation on the combined effects of physical hardening and chemical aging on low temperature properties of bituminous binders // RILEM Bookseries. 2016. Vol. 11.P. 631–641. DOI: 10.1007/ 978-94-017-7342-3_51.
10. Galeev, R., Nizamov, R., Abdrakhmanova, L., Khozin, V.: Resource-saving polymer compositions for construction purposes. In: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (2020). https://doi.org/10.1088/1757-899X/890/1/012111.
11. Barshtein R. S., Kirilovich V. I., Nosovskiy Yu. E. Plasticizers for polymers. M. : Chemistry, 1982. 200 p.
12. Perelman V. I. Quick reference book of a chemist. M. – L.: Chemistry,1964. 620 p.
13. Shikhaliev K. S. Modification of oil road bitumen with polymer waste // Exact science. 2017. № 6. P. 18–46.
14. Zagorodnyaya A. V. Study of the kinetics and mechanics of dissolution of the SBS type polymer in low molecular weight liquids // Scientific Bulletin of the State Educational Institution of the Luhansk People's Republic «Lugansk National Agrarian University». 2019. № 6-1. P. 254–261.
15. González O., Peña J. J., Muñoz M. E. Rheological Techniques as a Tool to Analyze Polymer-Bitumen Interactions: Bitumen Modified with Polyethylene and Polyethylene-Based Blends // Energy and Fuels. 2002. Vol. 16. № 5. P. 1256–1263.
16. Frolov V. A., Belyaev P. S, Makeev P. V., Belyaev V. P., Shashkov I. V. Interaction of the components of the modifying additive in the process of obtaining a polymer-bitumen binder. Bulletin of the Tambov State Technical university. 2020. Vol. 26. № 2. P. 284–292.
17. Inozemtsev A. S., Korolev E. V. Multicriteria optimization
18. Upadhyay S., Mallikarjunan V., Subbaraj V. K., Varughese S. Swelling and diffusion characteristics of polar and nonpolar polymers in asphalt // Journal of Applied Polymer Science. 2008. T. 109. № 1. P. 135–143.
19. Belyaev P. S., Polushkin D. L., Makeev P. V., Frolov V. A. … 2016. Vol. 22. № 2. P. 264–271.

20. Kumar K., Singh A., Maity S. K., Srivastava M., Sahai M., Singh R. K., Garg M. O. Rheological studies of performance grade bitumens prepared by blending elastomeric SBS (styrene butadiene styrene co-polymer in base bitumens // Journal of Industrial and Engineer-ing Chemistry. 2016. Vol. 44. P. 112–117. DOI: 10.1016/j.jiec.2016.08.017.
21. Zainab H. N., Kamaruddin, I., Tan I. M., Komiyama M. Investigation on the effect of phase segregation on the mechanical properties of polymer modified bitumen using analytical and morphological tools // International Conference on Advances in Sustainable Construction Materials and Civil Engineering Systems. 2017. DOI: 10.1051/matecconf/201712007002.
22. Fernandes S. R. M., Silva H. M. R. D., Oliveira J. R. M. Developing enhanced modi-fiedbitumens with waste engine oil products combined with polymers // Construction and Building Materials. 2018. Vol. 160. P. 714–724. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2017.04.014.
23. Zani L., Giustozzi F., Harvey J. Effect of storage stability on chemical and rheologi-cal properties of polymer-modified asphalt binders for road pavement construction. // Construction and Building Materials. 2017. Vol. 145. P. 326–335. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2017.04.014.

УДК 691.3
Мухаметрахимов Рустем Ханифович
кандидат технических наук, доцент
Email: muhametrahimov@mail.ru
Лукманова Лилия Валиевна
аспирант
Email: lilya0503199@gmail.com
Казанский государственный архитектурно-строительный университет
Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1

Влияние портландцементов с различным минералогическим составом на основные свойства композитов, сформованных методом послойного экструдирования (3D-печати)

Аннотация

Постановка задачи. Цель исследования – изучение влияния портландцементов с различным минералогическим составом на скорость набора пластической прочности цементного камня, на основные реологические характеристики смесей и на физико-механические свойства композитов, сформованных методом послойного экструдирования (3D-печати), определить особенности их выбора из числа исследуемых при проектировании составов для технологии строительной 3D-печати (3DCP).

Результаты. Установлено, что с позиции доступности цементов на рынке, при разработке составов бетонных и растворных смесей для 3D-печати наиболее целесообразно применять как цементы без минеральных добавок, так и цементы с добавками. С позиции минералогического состава цементов наиболее целесообразным является применение цементов с повышенным содержанием в клинкере минералов C_3S и C_3A, использование которых обеспечит быстрый набор прочности свежесформованной бетонной смеси в начальные сроки твердения в 3DCP. С точки зрения скорости набора пластической прочности по времени наиболее эффективными из числа исследуемых являются смеси на основе ЦЕМ II/А-П 32,5Н и ЦЕМ II/А-Ш 32,5Б, для которых характерно более ранее наступление начала схватывания по сравнению с остальными исследуемыми составами. Среди рассмотренных видов портландцементов с точки зрения получения наиболее оптимальных реологических показателей и высоких показателей физико-механических свойств при проектировании составов целесообразным в 3DCP является применение растворных и мелкозернистых бетонных смесей при Ц/П=1:3 и марки по подвижности Пк 2 на основе портландцемента ЦЕМ I 42,5Н, песка с модулем крупности Мк 3. Вместе с тем, в 3DCP возможно применение и других исследуемых портландцементов, которые в меньшей степени способствуют получению оптимальных реологических свойств, с применением модифицирующих добавок.

Выводы. Значимость полученных результатов для строительной отрасли состоит в обосновании выбора портландцемента при проектировании составов для 3DCP с учетом доступности его на строительном рынке, минералогического состава, скорости структурообразования и получения оптимальных реологических показателей и высоких показателей физико-механических свойств композитов.

Ключевые слова: бетоны, растворы, цементы, 3D-печать, 3DCP, аддитивные технологии, реология.

Для цитирования: Мухаметрахимов Р. Х., Лукманова Л. В. Влияние портландцементов с различным минералогическим составом на основные свойства композитов, сформованных методом послойного экструдирования (3D-печати) // Известия КГАСУ. 2021. № 2 (56). С. 37–50. DOI: 10.52409/20731523_2021_2_37.

1. Введение

Строительная 3D-печать бетоном (3DCP) является стремительно развивающейся технологией, о чем свидетельствует большое количество проектов, которые реализуются

в данной области с 1997 по 2021 гг. по всему миру: в США (University of Southern California, TotalKustom), в Великобритании (Loughborough University), в Китае (WinSun), в Нидерландах (Delft University of Technology, Eindhoven University of Technology), во Франции (XtreeE) и др. [1]. На сегодняшний день с помощью данной технологии возводят различные конструкции зданий и сооружений [2-4], мостовые сооружения [5, 6], малые архитектурные формы [7, 8] и предметы интерьера.

Однако, при всех достоинствах 3DCP, стоит отметить, что на сегодняшний день сохраняются проблемы, которые ограничивают получение качественной строительной продукции [9-12]. Это связано с применением неадаптированных сырьевых смесей ввиду использования различных сырьевых компонентов в качестве «чернил», основными из которых являются минеральные вяжущие вещества и заполнитель. Химический и минералогический состав данных компонентов, крупность заполнителя, Ц/П существенно влияют на реологические и технологические свойства смеси, геометрию затвердевших изделий и конструкций, формоустойчивость, скорость структурообразования и физико-механические характеристики готовых композитов [13]. Поэтому правильный выбор вида вяжущего вещества при проектировании составов смесей для строительной 3D-печати будет способствовать устойчивому развитию данной технологии, снижению риска образования дефектов и несоответствий готовой продукции.

Наибольшее применение среди минеральных вяжущих веществ в технологии строительной 3D-печати находит цемент [11, 14-20]. Определяющими критериями при выборе портландцемента в 3DCP являются его доступность на рынке строительных материалов [21], обеспечение быстрого набора прочности свежесформованной бетонной смеси в начальные сроки твердения [22], обеспечение стабильности свойств смесей как в процессе 3D-печати, так и в процессе эксплуатации полученных композитов, возможность регулирования свойств активными минеральными и химическими добавками.

Анализ мирового объема рынка цементной промышленности, согласно данным Геологической службы США [23], свидетельствует об относительной стабильности объемов производства цемента в мире (рис. 1). За последние десять лет уровень производства цемента в мире вырос на 24,2 % – с 3,3 до 4,1 млрд т.

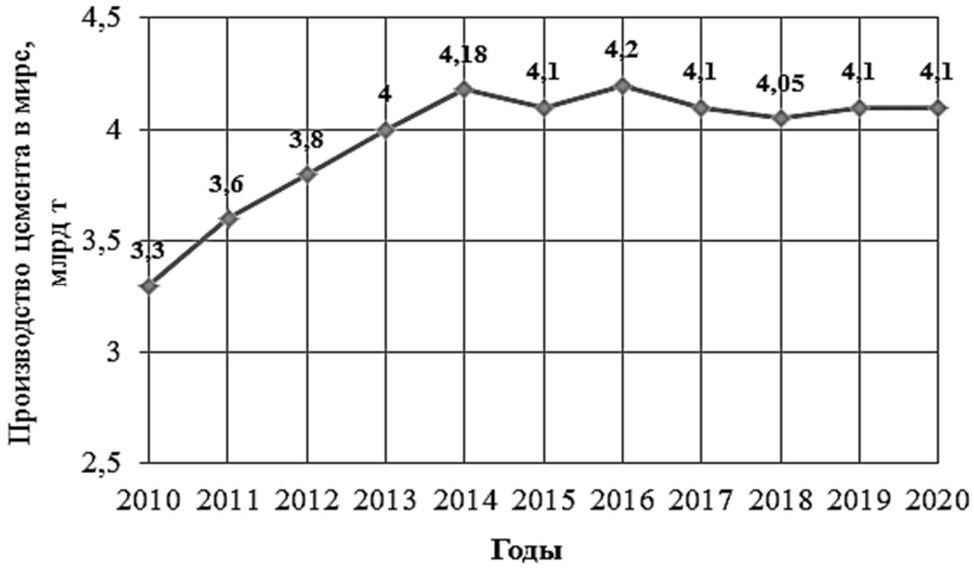


Рис. 1. Динамика производства цемента в мире в 2010-2020 гг. [23]

По итогам 2019 и 2020 гг. объем выпуска цемента в мире составил 4,1 млрд т [23]. При этом лидирующие позиции по-прежнему занимают такие страны, как Китай, Индия и Вьетнам, на долю которых приходится 54%, 8% и 2% соответственно всего мирового рынка. Динамика производства цемента в мире в 2019-2020 гг. по странам приведена на рис. 2 [23].

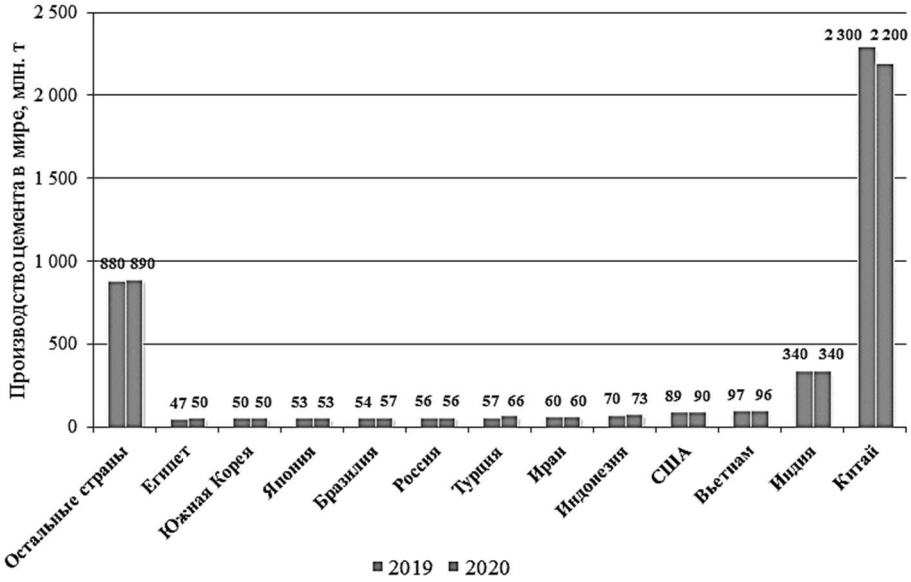


Рис. 2. Динамика производства цемента в мире в 2019-2020 гг. по странам [23]

Анализ официальной статистической информации Росстата по рынку производства цементов в РФ [24] свидетельствует о снижении доли производства цемента по сравнению с предыдущим годом. Так, по итогам 2020 г. в стране было произведено 55 984,7 тыс. т цемента (97,1 % к уровню аналогичного периода предыдущего года). При этом основной объем произведенного в стране цемента на 2020 г. пришелся на долю портландцементов без минеральных добавок. Объем выпуска этой продукции составил 34 511 тыс. т (61,6 % общероссийского выпуска цемента), что в два раза больше цемента с добавками, который занимает второе место по объемам производства – 18 911 тыс. т (33,8 % от общего объема производства цемента в стране). Анализируя рынок производства цементов с минеральными добавками, стоит отметить, что здесь, по данным на 2010-2018 гг., наблюдается тенденция, которая говорит о снижении доли их выпуска: 2016 г. – 44 %, 2018 г. – 41 %, 2018 г. – 40 % [25]. Это свидетельствует о том, что в технологии 3DCP, с точки зрения доступности портландцементов, целесообразным является исследование и разработка составов преимущественно на портландцементах без минеральных добавок и с их наличием.

В работах [11, 15, 16, 26, 27] указывается, что эффективными в 3DCP могут оказаться портландцементы нормальнотвердеющие и быстротвердеющие, приведенные в классификации EN 197-1, и обозначаемые подклассами N и R соответственно. Обеспечение быстрого набора прочности свежесформованной бетонной смеси в начальные сроки твердения может быть достигнуто за счет применения цементов с повышенным содержанием в клинкере минералов C_3S и C_3A, которые твердеют особо быстро и применяются при изготовлении быстротвердеющих портландцементов. Среди разновидностей быстротвердеющих цементов в зависимости от содержания в них основных минералов выделяют быстротвердеющий (C_3S+C_3A=60…65 %), особобыстротвердеющий (C_3S=60…65 %, C_3A≤8 %), сверхбыстротвердеющий (C_3S=65…68 %, C_3A≤8 % + добавки C_4AF и $CaCl_2$ при помоле клинкера) [28]. Указанные виды быстротвердеющих портландцементов имеют алитовый клинкер, так как содержание в них C_3S более 60 %. Таким образом, актуальным в 3DCP является изучение и применение вышеуказанных видов портландцементов. При этом стоит отметить, что помимо указанных цементов, в 3DCP могут найти применение и альтернативные виды цементов, например, сульфоалюминантные [29].

Таким образом, особую актуальность приобретают работы, направленные на изучение влияния нормально- и быстротвердеющих портландцементов с минеральными добавками и без них, как наиболее доступных на рынке и обеспечивающих быстрый набор прочности свежесформованной бетонной смеси в начальные сроки твердения, на реологические характеристики растворных и бетонных смесей для формования методом

послойного экструдирования (3D-печати), на физико-механические свойства композитов, сформованные методом послойного экструдирования (3D-печати).

Цель исследования – изучить влияние портландцементов с различным минералогическим составом на скорость набора пластической прочности цементного камня, на основные реологические характеристики смесей и на физико-механические свойства композитов, сформованных методом послойного экструдирования (3D-печати), определить особенности их выбора из числа исследуемых при проектировании составов для 3DCP.

Объект исследования – растворные и бетонные смеси на основе портландцемента для послойного экструдирования (3D-печати) и композиты на их основе.

Предмет исследования – реологические характеристики растворных и бетонных смесей для формования методом послойного экструдирования (3D-печати), физико-механические свойства затвердевших композитов в зависимости от вида портландцемента.

2. Материалы и методы

Исследования выполнялись в лаборатории аддитивных технологий строительного производства в Казанском государственном архитектурно-строительном университете.

В качестве исходных материалов применялись следующие компоненты:

а) портландцементы с различным классом и минералогическим составом:

- ЦЕМ I 42,5 Н производства ООО «Азия Цемент» по ГОСТ 31108-2016;
- ЦЕМ II/А-Ш 32,5 Б производства «SLK Cement» по ГОСТ 31108-2016;
- ЦЕМ II/А-П 32,5 Н производства АО «МОРДОВЦЕМЕНТ» по ГОСТ 31108-2016;
- ЦЕМ II/В-П 32,5 Н производства ООО «Сенгилеевский цементный завод» по ГОСТ 31108-2016.

б) мелкий заполнитель:

- кварцевый песок с модулем крупности Мк = 1,2; Мк = 2,3; Мк = 2,4; Мк = 3 по ГОСТ 8736-2014.

в) водопроводная питьевая вода, удовлетворяющая требованиям ГОСТ 23732-2011.

Вещественный и химический составы портландцементов приведены в табл. 1-2.

Таблица 1

Вещественный состав портландцементов

Наименование	Содержание основных компонентов, %						Содержание вспомогательных компонентов, %
	Портландцементный клинкер				Доменный шлак	Пуццолан (опока)	
	C_3S	C_2S	C_3A	C_4AF			
1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**
ЦЕМ I 42,5Н	68,1	9,4	7,2	11	–	–	4,1
ЦЕМ II/А-Ш 32,5Б	62,6	14,2	5,5	12,6	16,0	–	2,9
ЦЕМ II/А-П 32,5Н	63,3	13,6	6,6	13,5	–	18,5	–
ЦЕМ II/В-П 32,5Н	57,0	14,0	4,5	13,0	–	28,0	–

Таблица 2

Химический состав портландцементов

Наименование	Химический состав, %							
	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	Нерастворимый остаток	SO_3	Cl
1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**
ЦЕМ I 42,5Н	23,58	4,89	3,48	61,1	1,1	–	2,92	0,014
ЦЕМ II/А-Ш 32,5Б	23,6	5,5	3,6	58,7	3,3	0,8	3,0	0,01
ЦЕМ II/А-П 32,5Н	21,38	5,31	4,44	65,8	1,23	–	3,12	0,015
ЦЕМ II/В-П 32,5Н	21,1	4,4	4,3	64,2	0,9	–	2,9	0,008

Нормальную густоту и сроки схватывания цементного теста определяли по методике, изложенной в ГОСТ 310.3-76 «Цементы. Методы определения нормальной густоты, сроков схватывания и равномерности изменения объема».

Кинетику набора пластической прочности цементного теста определяли в соответствии с требованиями ASTM C403 с помощью карманного пенетрометра C194 в интервале времени от 0 до 8 ч.

Для определения реологических характеристик растворных и бетонных смесей и физико-механических свойств композитов на их основе были приготовлены 8 составов на различных портландцементах и модулях крупности песка, при различном Ц/П марок по подвижности Пк 2-Пк 4 (табл. 3). Подвижность составов регулировалась изменением содержания воды.

Таблица 3

Характеристики исходных составов

№ состава	Вид цемента	Модуль крупности песка	Ц/П	Марка подвижности/глубина погружения конуса, см
1	**2**	**3**	**4**	**5**
Mix 1	ЦЕМ I 42,5Н	Мк 2,3	1:3	Пк3/8,9
Mix 2		Мк 2,4		Пк3/8,9
Mix 3		Мк 3		Пк2/7,0
Mix 4	ЦЕМ II/А-Ш 32,5Б	Мк 1,2	1:2	Пк2/6,5
Mix 5				Пк3/8,7
Mix 6				Пк4/12,0
Mix 7	ЦЕМ II/А-П 32,5Н	Мк 3	1:3	Пк2/7,0
Mix 8	ЦЕМ II/В-П 32,5Н			

Перемешивание компонентов сырьевой смеси производили в бетоносмесителе принудительного действия в течение 10 минут до получения однородной массы.

Подвижность растворной и бетонной смеси определялась в соответствии с требованиями ГОСТ 5802-86 по глубине погружения в нее эталонного конуса.

Предельное напряжение сдвига смеси определялось при помощи простейшего вискозиметра, представляющего собой полый цилиндр из полипропилена высотой 200 мм, внутренним диаметром 105 мм.

Величина предельного напряжения сдвига бетонной и растворной смеси определялась в соответствии с методикой [30] по формуле (1):

$$\tau_0 = \frac{hd^2\rho}{kD^2}, \quad (1)$$

где τ_0 – предельное напряжение сдвига смеси, Па;
h и d – соответственно высота и диаметр вискозиметра, м;
ρ – плотность смеси, кг/м^3;
D – диаметр расплыва смеси, м;
k – коэффициент, учитывающий перераспределение напряжений в вязкопластических телах, равный 2.

Формование образцов из цементно-песчаной смеси осуществлялось методом послойного экструдирования на цеховом строительном 3D-принтере «AMT S-6044» производства компании ООО «СПЕЦАВИА» (г. Ярославль), организованным по портальной системе, посредством ее трехмерной печати по заранее разработанной трехмерной цифровой модели (G-code).

Напечатанные образцы твердели в течение 28 суток в естественных условиях: температура – 20±2 °С, относительная влажность воздуха – 50±20 %.

Подготовку образцов для испытаний, сформованных методом послойного экструдирования (3D-печати), производили путем их распила на призмы размерами 40×40×160 мм.

Среднюю плотность затвердевших цементно-песчаных растворов определяли по ГОСТ 5802-86 «Растворы строительные. Методы испытаний», бетонов – по ГОСТ 12730.1-78 «Бетоны. Методы определения плотности».

Водопоглощение растворов определяли по методике, изложенной в ГОСТ 5802-86 «Растворы строительные. Методы испытаний бетонов» – по ГОСТ 12730.3-78 «Бетоны. Метод определения водопоглощения».

Предел прочности при изгибе и сжатии затвердевших растворов и бетонов определяли на образцах-балочках размерами 40×40×160 мм и половинках образцов-призм, полученных после испытания на изгиб, по ГОСТ 5802-86 (рис. 3). «Растворы строительные. Методы испытаний» с использованием испытательных машин СИ-2-100-УХЛ4.2, ИП-1000-0, МИИ-100. Выбор данной методики в отношении исследуемых мелкозернистых бетонов обусловлен отсутствием в них крупного заполнителя (более 5 мм), что позволяет изготавливать образцы меньших размеров, регламентированных ГОСТ 10180-2012 «Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам» для бетонов, сложностью формования на 3D-принтере образцов с размерами, указанными в ГОСТ 10180-2012 «Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам».

Рис. 3. Испытание бетонного образца на сжатие на испытательной машине СИ-2-100-УХЛ4.2 (иллюстрация авторов)

3. Результаты и обсуждение

На первом этапе исследований изучено влияние вида портландцементов на нормальную густоту, сроки схватывания цементного теста на их основе (табл. 4).

Таблица 4

Нормальная густота, сроки схватывания исследуемых портландцементов

Вид цемента	НГ, %	Сроки схватывания	
		начало	конец
ЦЕМ I 42,5Н	32,00	3 ч 51 мин	4 ч 26 мин
ЦЕМ II/А-Ш 32,5Б	27,60	3 ч 09 мин	4 ч 24 мин
ЦЕМ II/А-П 32,5Н	33,88	2 ч 34 мин	4 ч 40 мин
ЦЕМ II/В-П 32,5Н	40,50	3 ч 38 мин	5 ч 38 мин

Как видно из табл. 5, вид цемента оказывает различное влияние на нормальную густоту и сроки схватывания цементного теста. Наибольшая водопотребность характерна для цемента с наибольшим содержанием в нем осадочной горной породы (опоки) – ЦЕМ II/В-П 32,5Н, что вызвано развитой удельной поверхностью минеральной добавки, требующей для ее смачивания значительного объема воды. Наименьшая водопотребность характерна для цемента ЦЕМ II/А-Ш 32,5Б. Начало схватывания цементного теста на основе портландцементов с минеральными добавками наступает на 13-77 минут ранее состава на основе бездобавочного портландцемента. Конец схватывания цементного теста на основе ЦЕМ II/А-Ш 32,5Б наступает на 2 минуты ранее состава на основе бездобавочного портландцемента, остальные составы замедляют окончание схватывания цементного теста на 14-72 минут по сравнению с составом на основе бездобавочного портландцемента.

На втором этапе изучено влияние вида портландцементов на скорость набора пластической прочности цементного камня во времени (рис. 4).

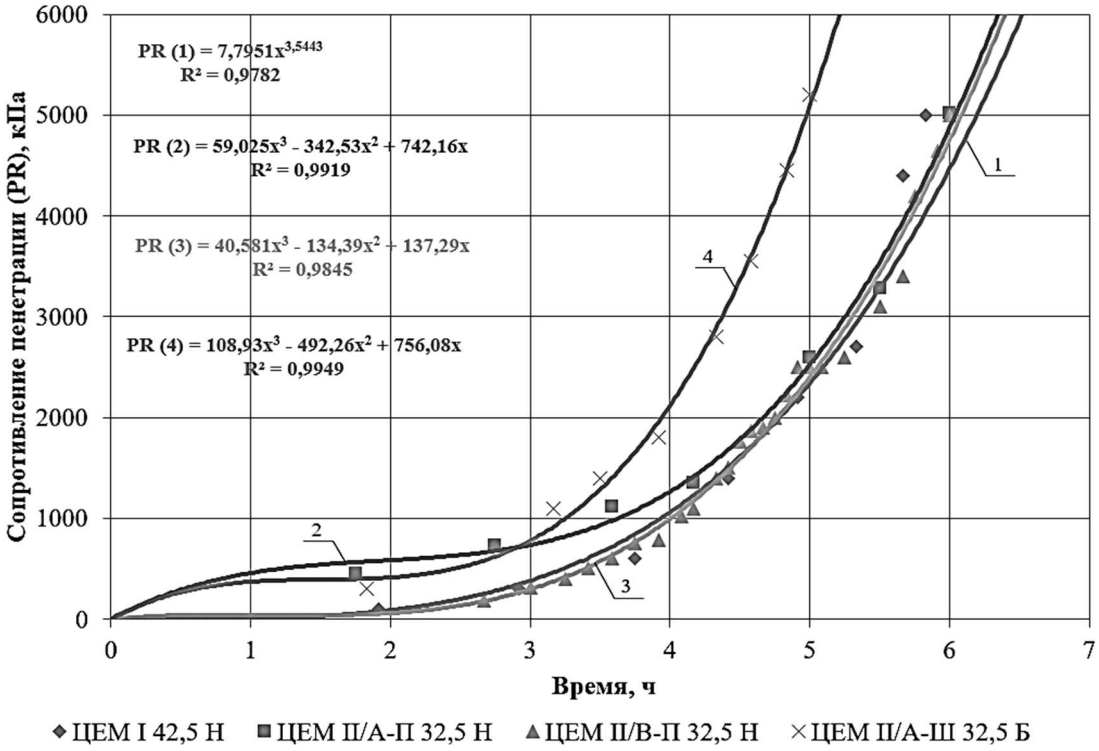


Рис. 4. Зависимость скорости набора пластической прочности цементного камня во времени от вида портландцемента:
1 – ЦЕМ I 42,5Н; 2 – ЦЕМ II/А-П 32,5Н; 3 – ЦЕМ II/В-П 32,5Н; 4 – ЦЕМ II/А-Ш 32,5Б
(иллюстрация авторов)

Анализ рис. 4 показывает, что в интервале 0-4 ч наибольший прирост значений сопротивления пенетрации характерен для составов на основе ЦЕМ II/А-П 32,5Н и ЦЕМ II/А-Ш 32,5Б, что согласуется с полученными результатами (табл. 5) – начало схватывания данных составов наступает ранее по сравнению с остальными составами. В отдаленные сроки схватывания (4-6,5 ч) наблюдается значительное ускорение кинетики набора пластической прочности цементного камня на основе ЦЕМ II/А-Ш 32,5Б по сравнению с составами на основе ЦЕМ I 42,5Н, ЦЕМ II/А-П 32,5Н, ЦЕМ II/В-П 32,5Н, которые имеют идентичную скорость набора пластической прочности в исследуемом интервале времени.

Результаты экспериментальных исследований, отражающих влияние вида портландцемента, модуля крупности песка, Ц/П и подвижности смеси на реологические и физико-механические характеристики бетонов и растворов, напечатанных на 3D-принтере, приведены в табл. 5.

Как следует из табл. 5, вид портландцемента, модуль крупности песка, Ц/П и подвижность смеси оказывают различное влияние на формирование реологических и физико-механических характеристик бетонов и растворов, напечатанных на 3D-принтере. Среди рассматриваемых видов портландцемента наибольшими показателями средней плотности, предела прочности при сжатии, коэффициента размягчения и низким водопоглощением обладают бетоны и растворы, напечатанные на 3D-принтере, на основе ЦЕМ I 42,5Н в сочетании с песком с модулем крупности Мк 3, подвижность смеси которых соответствует марке Пк 2. Применение песка с модулем крупности Мк 2,3 и Мк 2,4 совместно с портландцементом ЦЕМ I 42,5Н при одинаковой подвижности смеси приводит к близким показателям предельного напряжения сдвига, коэффициента размягчения и водопоглощения бетонов и растворов, напечатанных на 3D-принтере.

При использовании портландцемента ЦЕМ II/А-Ш 32,5Б в сочетании с песком с модулем крупности Мк 1,2 наиболее оптимальными реологическими и физико-механическими характеристиками обладают бетоны и растворы, напечатанные на

3D-принтере, подвижности Пк 3. Со снижением подвижности смеси от Пк 3 до Пк 2 наблюдается значительное увеличение ее предельного напряжения сдвига, снижение средней плотности образцов, предела прочности при изгибе и сжатии, коэффициента размягчения. Это вызвано особенностью технологии 3D-печати, которая приводит к повышенному воздухововлечению малоподвижной растворной смеси при ее вращении и перемещении шнеком в бункере 3D-принтера, и вследствие этого – к дефектам структуры, снижению физико-механических свойств композитов. Данное явление авторами наблюдалось и на образцах иного состава аналогичной подвижности [31].

Таблица 5

Реологические и физико-механические характеристики бетонов и растворов, напечатанных на 3D-принтере, в зависимости от вида портландцемента, модуля крупности песка, Ц/П и подвижности смеси

Вид цемента	Модуль крупности песка	Ц/П	Марка подвижности /глубина погружения конуса, см	Предельное напряжение сдвига, Па	Средняя плотность, кг/м^3	$R_{изг}$, МПа	$R_{сж}$, МПа	$K_р$	W, %
1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
ЦЕМ I 42,5Н	Мк 2,3	1:3	Пк 3/8,9	77	1980	5,0	32,1	0,75	8,4
	Мк 2,4		Пк 3/8,9	78	2050	7,0	34,4	0,76	8,4
	Мк 3		Пк 2/7,0	94	2060	6,0	41,2	0,82	8,3
ЦЕМ II/А-Ш 32,5Б	Мк 1,2	1:2	Пк 2/6,5	208	1890	4,1	25,7	0,65	10,6
			Пк 3/8,7	104	2000	4,5	27,9	0,70	11,2
			Пк 4/12,0	29	1950	4,2	26,5	0,67	12,8
ЦЕМ II/А-П 32,5Н	Мк 3	1:3	Пк 2/7,0	113	2010	4,2	31,6	0,53	9,5
ЦЕМ II/В-П 32,5Н				116	2020	3,2	26,5	0,57	11,1

Применение портландцемента ЦЕМ II/В-П 32,5Н приводит к снижению предела прочности при изгибе на 23,8 %, при сжатии – на 16,1 %, увеличению коэффициента размягчения – на 7,5 %, водопоглощению – на 16,8 % по сравнению с бетонами и растворами, напечатанными на 3D-принтере, на основе ЦЕМ II/А-П 32,5Н при одинаковом модуле крупности песка, Ц/П и подвижности смеси. При этом предельное напряжение сдвига смеси и средняя плотность образцов на данных составах отличаются незначительно. Выявленное снижение физико-механических свойств при использовании портландцемента ЦЕМ II/В-П 32,5Н, по сравнению с портландцементом ЦЕМ II/А-П 32,5Н, вызвано повышенным содержанием в первом добавки опоки (до 28 %).

4. Заключение

1. Анализ рынка производства цемента в мире за последние 10 лет (2010-2020 гг.) свидетельствует об его относительной стабильности. По итогам 2020 г. Россия находится на восьмом месте в мире по производству цемента. Значительную долю производства цементов в России за 2020 г. составляют цементы без минеральных добавок и цементы с добавками, что составляет 61,6 % и 33,8 % общероссийского выпуска цемента соответственно. В связи с доступностью данных цементов при разработке составов бетонных и растворных смесей для 3D-печати целесообразно применять именно их.

2. С позиции минералогического состава цементов наиболее целесообразным является применение цементов с повышенным содержанием в клинкере минералов C_3S и C_3A, использование которых обеспечит быстрый набор прочности свежесформованной бетонной смеси в начальные сроки твердения в 3DCP. Данному требованию удовлетворяют быстротвердеющие цементы, которые имеют алитовый клинкер (содержание в них C_3S более 60 %). При этом анализ работ в области 3DCP свидетельствует о том, что эффективными, помимо быстротвердеющих цементов, в данной технологии могут оказаться и нормальнотвердеющие цементы.

3. С точки зрения скорости набора пластической прочности во времени наиболее эффективными являются составы на основе ЦЕМ II/А-П 32,5Н и ЦЕМ II/А-Ш 32,5Б, для которых характерно раннее наступление начала схватывания по сравнению с остальными исследуемыми составами. В 3DCP это имеет особое значение, так как позволяет печатать изделия большей высоты без технологических перерывов. Исследуемые виды портландцементов оказывает различное влияние на нормальную густоту и сроки схватывания цементного теста. Наибольшая водопотребность характерна для портландцемента ЦЕМ II/В-П 32,5Н – 40,5 %, наименьшая – для ЦЕМ II/А-Ш 32,5Б (27,6 %).

4. Среди рассмотренных видов портландцемента с точки зрения получения оптимальных реологических показателей (предельное напряжение сдвига) и высоких показателей физико-механических свойств (средняя плотность, предел прочности при изгибе и сжатии, коэффициент размягчения, водопоглощение) целесообразным в 3DCP является применение растворных и бетонных смесей на основе портландцемента ЦЕМ I 42,5Н (C_3S – 68,1 %, C_2S – 9,4 %, C_3A – 7,2 %, C_4AF – 11 %), песка с модулем крупности Мк 3 при Ц/П=1:3 и марки по подвижности Пк 2.

5. Использование портландцементов с минеральными добавками (ЦЕМ II/А-Ш 32,5Б, ЦЕМ II/А-П 32,5Н, ЦЕМ II/В-П 32,5Н) в 3DCP вызывает необходимость их дальнейшего изучения с целью улучшения реологических характеристик смесей и физико-механических свойств бетонов и растворов, напечатанных на 3D-принтере, на их основе, что возможно путем применения различных модифицирующих добавок.

6. Вместе с тем, в 3DCP возможно применение и других исследуемых ПЦ в том числе с минеральными добавками: ЦЕМ II/А-Ш 32,5Б, ЦЕМ II/А-П 32,5Н, ЦЕМ II/В-П 32,5Н, которые в меньшей степени способствуют получению оптимальных реологических свойств. Для их эффективного применения, в том числе и бездобавочных цементов, необходимо направленное регулирование реологических свойств бетонных смесей, которое возможно осуществить регулированием водоцементного отношения, крупностью и количеством заполнителя, а также модификацией активными минеральными и химическими добавками.

Благодарности

Работа выполнена при поддержке ООО «3Д-Строй» (Россия, г. Казань), поддержана стипендией Президента Российской Федерации молодым ученым и аспирантам (СП-1051.2021.1) и НКО «Фонд гражданского общества».

Список библиографических ссылок

1. Buswell R. A., Leal De Silva W. R., Jones S. Z., Dirrenberger J. 3D printing using concrete extrusion: A roadmap for research // Cem. Concr. Res. 2018. Vol. 112. P. 37–49. DOI: 10.1016/j.cemconres.2018.05.006.
2. Anton A., Reiter L., Wangler T., Frangez V., Flatt R. J., Dillenburger B. A 3D concrete printing prefabrication platform for bespoke columns // Autom. Constr. 2021. Vol. 122. P. 103467. DOI: 10.1016/j.autcon.2020.103467.
3. He Y., Zhang Y., Zhang C., Zhou H. Energy-saving potential of 3D-printed concrete building with integrated living wall // Energy Build. Elsevier Ltd, 2020. Vol. 222. P. 110110. DOI: 10.1016/j.enbuild.2020.110110.
4. Hager I., Golonka A., Putanowicz R. 3D-printing of buildings and building components as the future of sustainable construction? // Procedia Eng. 2016. Vol. 151. P. 292–299. DOI: 10.1016/j.proeng.2016.07.357.
5. Salet T. A. M., Ahmed Z. Y., Bos F. P., Laagland H. L. M. 3D printed concrete bridge // Proceedings of the International Conference on Progress in Additive Manufacturing. Pro-AM, 2018. Vol. 2018-May. P. 2–9. DOI: 10.25341/D4530C.
6. Salet T. A. M., Ahmed Z. Y., Bos F. P., Laagland H. L. M. Design of a 3D-printed concrete bridge by testing // Virtual Phys. Prototyp. Taylor and Francis Ltd., 2018. Vol. 13. № 3. P. 222–236. DOI: 10.1080/17452759.2018.1476064.

7. Скамейка S-образной формы для благоустройства городских пространств, изготовленная на 3D-принтере : пат. 198776 Рос. Федерация. № 2020110349; заявл. 11.03.20 ; опубл. 28.07.20, Бюл. № 22.
8. Фибробетонная армированная скамейка О-образной формы, изготовленная на 3D-принтере : пат. 200503 Рос. Федерация. № 2020110353 ; заявл. 11.03.20 ; опубл. 27.10.20, Бюл. № 30.
9. Mukhametrakhimov R., Lukmanova L. Influence of the technological properties of cement-sand mortar on the quality of 3D-printed products // IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng. 2020. Vol. 890. P. 012082. DOI: 10.1088/1757-899x/890/1/012082.
10. Mukhametrakhimov R., Lukmanova L. Influence of cement-sand mortar mobility on the quality of 3D printed hardened composite // Constr. Unique Build. Struct. 2021. Vol. 94. № 1. P. 9404. DOI: 10.4123/CUBS.94.4.
11. Le T. T., Austin S. A. L. S. et al. Hardened properties of high-performance printing concrete // Cem. Concr. Res. 2012. Vol. 42. № 3. P. 558–566. DOI: 10.1016/j.cemconres.2011.12.003.
12. Marchment T., Sanjayan J., Xia M. Method of enhancing interlayer bond strength in construction scale 3D printing with mortar by effective bond area amplification // Mater. Des. 2019. № 169. P. 107684. DOI: 10.1016/j.matdes.2019.107684.
13. Vdovin E. A., Stroganov V. F. Properties of cement-bound mixes depending on technological factors // Mag. Civ. Eng. 2020. Vol. 93. № 1. P. 147–155. DOI: 10.18720/MCE.93.12.
14. Alghamdi H., Nair S. A. O., Neithalath N. Insights into material design, extrusion rheology, and properties of 3D-printable alkali-activated fly ash-based binders // Mater. Des. Elsevier Ltd, 2019. Vol. 167. P. 107634. DOI: 10.1016/j.matdes.2019.107634.
15. Vaitkevičius V., Šerelis E., Kerševičius V. Effect of ultra-sonic activation on early hydration process in 3D concrete printing technology // Constr. Build. Mater. 2018. Vol. 169. P. 354–363. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2018.03.007.
16. Di Maio L., Coppola B., Courard L., Michel F., Incarnato L., Scarfato P. Data on thermal conductivity, water vapour permeability and water absorption of a cementitious mortar containing end-of-waste plastic aggregates // Data Br. Elsevier Inc., 2018. Vol. 18. P. 1057–1063. DOI: 10.1016/j.dib.2018.03.128.
17. Zhang Y., Zhang Y., Liu G., Yang Y., Wu M., Pang B. Fresh properties of a novel 3D printing concrete ink // Constr. Build. Mater. Elsevier Ltd, 2018. Vol. 174. P. 263–271. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2018.04.115.
18. Kruger J., Zeranka S., van Zijl G. 3D concrete printing: A lower bound analytical model for buildability performance quantification // Autom. Constr. Elsevier, 2019. Vol. 106. № February. P. 102904. DOI: 10.1016/j.autcon.2019.102904.
19. Ma G., Li Z., Wang L. Printable properties of cementitious material containing copper tailings for extrusion-based 3D printing // Constr. Build. Mater. Elsevier Ltd, 2018. Vol. 162. P. 613–627. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2017.12.051.
20. Shakor P., Sanjayan J., Nazari A., Nejadi S. Modified 3D printed powder to cement-based material and mechanical properties of cement scaffold used in 3D printing // Constr. Build. Mater. Elsevier Ltd, 2017. Vol. 138. P. 398–409. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2017.02.037.
21. Хозин В. Г., Хохряков О. В., Низамов Р. К. Карбонатные цементы низкой водопотребности - перспективные вяжущие для бетонов // Бетон и железобетон. 2020. № 1 (601). С. 15–28.
22. Jianchao Z., Zhang T., Faried M., Wengang C. 3D printing cement based ink, and it's application within the construction industry // ASCMCES-17. MATEC Web of Conferences, 2017. P. 02003.
23. U.S. Geological Survey. Cement Statistics and Information. 2021. URL: https://www.usgs.gov/centers/nmic/cement-statistics-and-information (дата обращения: 05.04.2021).
24. Федеральная служба государственной статистики. Информация о социально-экономическом положении России 2020 г. URL: https://rosstat.gov.ru/compendium/document/50800 (дата обращения: 05.04.2021).

25. Зайцева Е. В. Разработка научно-методической базы обоснования и комплексного планирования стратегий развития горноперерабатывающих производств с учетом инновационной составляющей. М. : НИТУ «МИСиС», 2020.
26. Sikora P., Chung S. Y., Liard M., Lootens D., Dorn T., Kamm P. H., Stephan D., Abd Elrahman M. The effects of nanosilica on the fresh and hardened properties of 3D printable mortars // Constr. Build. Mater. Elsevier Ltd, 2021. Vol. 281. P. 122574. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2021.122574.
27. Chen Y., Chaves Figueiredo S., Li Z., Chang Z., Jansen K., Çopuroğlu O., Schlangen E. Improving printability of limestone-calcined clay-based cementitious materials by using viscosity-modifying admixture // Cem. Concr. Res. Elsevier Ltd, 2020. Vol. 132. P. 106040. DOI: 10.1016/j.cemconres.2020.106040.
28. Рахимова Н. Р. Современные гидравлические вяжущие: учеб. пособие. Казань : КГАСУ, 2014. 119 с.
29. Mohan M. K., Rahul A. V., De Schutter G., Van Tittelboom K. Early age hydration, rheology and pumping characteristics of CSA cement-based 3D printable concrete // Constr. Build. Mater. Elsevier Ltd, 2021. Vol. 275. P. 122136. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2020.122136.
30. Баженов Ю. М., Демьянова В. С., Калашников В. И. Модифицированные высококачественные бетоны. 2006. 368 с.
31. Mukhametrakhimov R., Lukmanova L. Structure and properties of mortar printed on a 3D printer // Mag. Civ. Eng. 2021. Vol. 102. № 2. DOI: 10.34910/MCE.102.6.

Mukhametrakhimov Rustem Khanifovich
candidate of technical sciences, associate professor
Email: muhametrahimov@mail.ru
Lukmanova Liliya Valievna
post-graduate student
Email: lilya0503199@gmail
Kazan State University of Architecture and Engineering
The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

Influence of Portland cements with different mineralogical composition on basic properties of 3D-printed composites

Abstract

Problem statement. The purpose of the research is to study the effect of Portland cements with different mineralogical composition on the rate of plastic strength of set cement, the main rheological characteristics of mixtures and the physical and mechanical properties of 3D hardened composites, to determine the features of their choice from among studied types of Portland cements when designing of compositions for 3DCP.

Results. It was found both types of cements without mineral additives and cement with additives are most expedient to use in developing of concrete and mortar mixes for 3DCP from the position of availability of cements on the market. From the point of view of the mineralogical composition of cements, it was found cements with a high content of clinker minerals C3S and C3A are the most expedient to use because of providing a quick set of the strength of the freshly formed concrete mix at the initial time of hardening in 3DCP. From the point of view of the rate of plastic strength, mixes based on CEM II/A-P 32.5 N and CEM II/A-S 32.5 R are the most effective, which are characterized by an earlier initial set compared to the rest studied compositions. From the point of view of obtaining the most optimal rheological indicators and high physical and mechanical properties, mortar and concrete mixes based on Portland cement CEM I 42.5 N, sand with fineness modulus Mk = 3, cement-to-sand (C/S) ratio of 1:3 and mobility class Pk 2 (according to Russian standard GOST 5802-86) are the most advisable to use in 3DCP. Nevertheless, it is possible to use other studied Portland cements in 3DCP, which, to a lesser extent, contribute to obtaining optimal rheological properties, in conjunction with modifying additives.

Conclusions. The significance of the results for the construction industry is to justify the choice of Portland cement when designing compositions for 3DCP taking into account its availability in the construction market, mineralogical composition, rate of structure formation and obtaining the most optimal rheological parameters and high indicators of physical and mechanical properties of composites.

Keywords: concretes, mortars, cements, 3D-printing, 3DCP, additive manufacturing, rheology.

For citation: Mukhametrakhimov R. Kh., Lukmanova L. V. Influence of Portland cements with different mineralogical composition on basic properties of 3D-printed composites // Izvestija KGASU. 2021. № 2 (56). P. 37–49. DOI: 10.52409/20731523_2021_2_37.

References

1. Buswell R. A., Leal De Silva W. R., Jones S. Z., Dirrenberger J. 3D-printing using concrete extrusion: A roadmap for research // Cem. Concr. Res. 2018. Vol. 112. P. 37–49. DOI: 10.1016/j.cemconres.2018.05.006.
2. Anton A., Reiter L., Wangler T., Frangez V., Flatt R. J., Dillenburger B. A 3D concrete printing prefabrication platform for bespoke columns // Autom. Constr. 2021. Vol. 122. P. 103467. DOI: 10.1016/j.autcon.2020.103467.
3. He Y., Zhang Y., Zhang C., Zhou H. Energy-saving potential of 3D printed concrete building with integrated living wall // Energy Build. Elsevier Ltd, 2020. Vol. 222. P. 110110. DOI: 10.1016/j.enbuild.2020.110110.
4. Hager I., Golonka A., Putanowicz R. 3D printing of buildings and building components as the future of sustainable construction? // Procedia Eng. 2016. Vol. 151. P. 292–299. DOI: 10.1016/j.proeng.2016.07.357.
5. Salet T. A. M., Ahmed Z. Y., Bos F. P., Laagland H. L. M. 3D printed concrete bridge // Proceedings of the International Conference on Progress in Additive Manufacturing. Pro-AM, 2018. Vol. 2018-May. P. 2–9. DOI: 10.25341/D4530C.
6. Salet T. A. M., Ahmed Z. Y., Bos F. P., Laagland H. L. M. Design of a 3D printed concrete bridge by testing // Virtual Phys. Prototyp. Taylor and Francis Ltd., 2018. Vol. 13. № 3. P. 222–236. DOI: 10.1080/17452759.2018.1476064.
7. 3D-printed S-shaped bench for urban landscaping : patent 198776 of the Rus. Federation. № 2020110349 ; decl. 11.03.20; publ. 28.07.20. Bull. in № 22.
8. O-shaped fiber-reinforced concrete bench made on a 3D printer : patent 200503 of the Rus. Federation. № 2020110353; decl. 11.03.20; publ. 27.10.20. Bull. in № 30.
9. Mukhametrakhimov R., Lukmanova L. Influence of the technological properties of cement-sand mortar on the quality of 3D printed products // IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng. 2020. Vol. 890. P. 012082. DOI: 10.1088/1757-899x/890/1/012082.
10. Mukhametrakhimov R., Lukmanova L. Influence of cement-sand mortar mobility on the quality of 3D printed hardened composite // Constr. Unique Build. Struct. 2021. Vol. 94. № 1. P. 9404. DOI: 10.4123/CUBS.94.4.
11. Le T.T., Austin S.A. L. S. et al. Hardened properties of high-performance printing concrete // Cem. Concr. Res. 2012. Vol. 42. № 3. P. 558–566. DOI: 10.1016/j.cemconres.2011.12.003.
12. Marchment T., Sanjayan J., Xia M. Method of enhancing interlayer bond strength in construction scale 3D printing with mortar by effective bond area amplification // Mater. Des. 2019. № 169. P. 107684. DOI: 10.1016/j.matdes.2019.107684.
13. Vdovin E. A., Stroganov V. F. Properties of cement-bound mixes depending on technological factors // Mag. Civ. Eng. 2020. Vol. 93. № 1. P. 147–155. DOI: 10.18720/MCE.93.12.
14. Alghamdi H., Nair S. A. O., Neithalath N. Insights into material design, extrusion rheology, and properties of 3D-printable alkali-activated fly ash-based binders // Mater. Des. Elsevier Ltd, 2019. Vol. 167. P. 107634. DOI: 10.1016/j.matdes.2019.107634.

15. Vaitkevičius V., Šerelis E., Kerševičius V. Effect of ultra-sonic activation on early hydration process in 3D concrete printing technology // Constr. Build. Mater. 2018. Vol. 169. P. 354–363. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2018.03.007.
16. Di Maio L., Coppola B., Courard L., Michel F., Incarnato L., Scarfato P. Data on thermal conductivity, water vapour permeability and water absorption of a cementitious mortar containing end-of-waste plastic aggregates // Data Br. Elsevier Inc., 2018. Vol. 18. P. 1057–1063. DOI: 10.1016/j.dib.2018.03.128.
17. Zhang Y., Zhang Y., Liu G., Yang Y., Wu M., Pang B. Fresh properties of a novel 3D printing concrete ink // Constr. Build. Mater. Elsevier Ltd, 2018. Vol. 174. P. 263–271. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2018.04.115.
18. Kruger J., Zeranka S., van Zijl G. 3D concrete printing: A lower bound analytical model for buildability performance quantification // Autom. Constr. Elsevier, 2019. Vol. 106. February. P. 102904. DOI: 10.1016/j.autcon.2019.102904.
19. Ma G., Li Z., Wang L. Printable properties of cementitious material containing copper tailings for extrusion-based 3D printing // Constr. Build. Mater. Elsevier Ltd, 2018. Vol. 162. P. 613–627. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2017.12.051.
20. Shakor P., Sanjayan J., Nazari A., Nejadi S. Modified 3D printed powder to cement-based material and mechanical properties of cement scaffold used in 3D-printing // Constr. Build. Mater. Elsevier Ltd, 2017. Vol. 138. P. 398–409. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2017.02.037.
21. Khozin V. G., Khokhryakov O. V., Nizamov R. K. Low water demand carbonate cements are promising binders for concrete // Concrete and reinforced concrete. 2020. Vol. 601. № 1. P. 15–28.
22. Jianchao Z., Zhang T., Faried M., Wengang C. 3D printing cement-based ink, and it's application within the construction industry // ASCMCES-17. MATEC Web of Conferences, 2017. P. 02003.
23. U.S. Geological Survey. Cement Statistics and Information. 2021. URL: https://www.usgs.gov/centers/nmic/cement-statistics-and-information (reference date: 05.04.2021).
24. Russian Federal State Statistics Service: Information on the socio-economic situation of Russia in 2020. URL: https://rosstat.gov.ru/compendium/document/50800 (reference date: 05.04.2020).
25. Zaytseva Y. V. Development of a scientific and methodological base for substantiation and comprehensive planning of strategies for the development of mining processing industries, taking into account the innovative component. 2020. 329 p.
26. Sikora P., Chung S. Y., Liard M., Lootens D., Dorn T., Kamm P. H., Stephan D., Abd Elrahman M. The effects of nanosilica on the fresh and hardened properties of 3D printable mortars // Constr. Build. Mater. Elsevier Ltd, 2021. Vol. 281. P. 122574. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2021.122574.
27. Chen Y., Chaves Figueiredo S., Li Z., Chang Z., Jansen K., Çopuroğlu O., Schlangen E. Improving printability of limestone-calcined clay-based cementitious materials by using viscosity-modifying admixture // Cem. Concr. Res. Elsevier Ltd, 2020. Vol. 132. P. 106040. DOI: 10.1016/j.cemconres.2020.106040.
28. Rakhimova N. R. Modern hydraulic binders. Kazan : KSUAE, 2014. 119 p.
29. Mohan M. K., Rahul A. V., De Schutter G., Van Tittelboom K. Early age hydration, rheology and pumping characteristics of CSA cement-based 3D printable concrete // Constr. Build. Mater. Elsevier Ltd, 2021. Vol. 275. P. 122136. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2020.122136.
30. Bazhenov Y. M., Demyanova V. S., Kalashnikov V. I. Modified high quality concrete. M. : Izdatelstvo assotsiatsii stroitelnykh vuzov, 2006. 368 p.
31. Mukhametrakhimov R., Lukmanova L. Structure and properties of mortar printed on a 3D-printer // Mag. Civ. Eng. 2021. Vol. 102. № 2. DOI: 10.34910/MCE.102.6.

УДК 666.9
Рахимова Наиля Равилевна
доктор технических наук, профессор
Email: rahimova.07@list.ru
Рахимов Равиль Зуфарович
доктор технических наук, профессор
Email: rahimov11@bk.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет
Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1

Влияние содержания добавок термоактивированной глины на свойства и состав продуктов твердения композиционного шлакощелочного вяжущего с низким содержанием щелочного активатора

Аннотация

Постановка задачи. Цель исследования – изучение особенностей свойство- и структурообразования композиционного шлакощелочного вяжущего с добавками термоактивированных глин в зависимости от содержания и состава аморфной фазы и низким содержанием щелочного активатора (4 М NaOH).

Результаты. Методами рентгенофазового анализа установлено, что основными продуктами твердения композиционного шлакощелочного вяжущего являются C-N-(A)-S-H гель, кальцит, цеолиты, фожазит, анальцим. Получено композиционное шлакощелочное вяжущее с добавкой 30 % термоактивированной глины и прочностью при сжатии в возрасте 28 суток до 30 МПа. Установлено, что термоактивированная глина, содержащая 60 % реакционноспособной фазы, пригодна для использования в качестве дополнительного алюмосиликатного компонента к шлаку.

Выводы. Значимость полученных результатов для строительной отрасли состоит в том, что полученные результаты вносят вклад в развитие теоретических основ, расширение сырьевой базы и номенклатуры бесклинкерных низкообжиговых минеральных вяжущих.

Ключевые слова: шлак, глина, щелочь, вяжущее, термическая активация, прочность.

Для цитирования: Рахимова Н. Р., Рахимов Р. З. Влияние содержания добавок термоактивированной глины на свойства и состав продуктов твердения композиционного шлакощелочного вяжущего с низким содержанием щелочного активатора // Известия КГАСУ. 2021. № 2 (56). С. 50–59. DOI: 10.52409/20731523_2021_2_50.

1. Введение

Повышение технических и экологических требований к цементам и бетонам, как к наиболее широко применяемым строительным материалам, обуславливает их постоянное развитие. Одним из ведущих направлений их совершенствования является разработка смешанных видов вяжущих, состоящих из двух и более компонентов. Сочетание различных материалов с вяжущими свойствами открывает большие возможности расширения сырьевой базы, решения экологических проблем производства, управления свойство- и структурообразованием как портландцементных, так и бесклинкерных видов вяжущих, к которым относятся и активированные щелочами цементы [1-4]. Благодаря щелочной активации для получения бесклинкерных активированных щелочами цементов возможно использование и совмещение алюмосиликатных материалов широкого химико-минералогического состава с различным содержанием реакционноспособной фазы. Следует отметить, что состав, структура и свойства активированных щелочами цементов зависят от большего числа факторов по сравнению с другими минеральными вяжущими, что связано с необходимостью использования, наряду с минеральным компонентом, щелочного активатора, учетом его природы и концентрации [5-10]. Для смешанных вяжущих систем число факторов, влияющих на состав и свойства искусственных каменных материалов на их основе, возрастает пропорционально числу компонентов и их химико-минералогическому и фазовому составу, содержанию и составу реакционноспособной фазы, тонкости помола и т.д. Одним из эффективных способов

регулирования состава и свойств активированных щелочами цементов, основанном на образовании геля вяжущего смешанного состава C-N-(A)-S-H, является совмещение кальциевых и бескальциевых алюмосиликатных минеральных компонентов. Модифицирование структуры геля обеспечивают возможность регулирования поровой структуры, прочности, термической стойкости и долговечности смешанных вяжущих [11-14]. Одним из наиболее изученных видов смешанных вяжущих такого типа являются активированные щелочами цементы на основе смеси кальциевого и бескальциевого алюмосиликатов – доменного гранулированного шлака и метакаолина, соответственно [14-17]. К перечисленным преимуществам смешанных вяжущих на основе шлака следует отнести и возможность снижения потребности в щелочном компоненте. Что касается метакаолина, то ограниченность запасов каолиновых глин привела в последнее время к интенсивным исследованиям сырьевого потенциала более распространенных некаолиновых и полиминеральных глин для получения активированных щелочами цементов [1, 18-20]. В отличие от шлака, глины гораздо более разнообразны по химико-минералогическому и фазовому составу, поэтому в ранее проведенных исследованиях оптимальное содержание термоактивированных глин в смешанных со шлаком вяжущих системах имело разные значения от 20 до 60 % [8, 16, 17]. В связи с этим целесообразно проведение исследований совместимости шлака и термоактивированных глин с учетом содержания и состава аморфной фазы в последних.

Цель настоящей работы – исследование влияния содержания и состава аморфной фазы термоактивированных глин на механические свойства и состав продуктов реакции композиционных шлакощелочных вяжущих при низком содержании щелочного компонента.

2. Материалы и методы

В исследовании использовались два вида глин месторождений Республики Татарстан и шлак Орско-Халиловского металлургического комбината. Химический состав исходных материалов приведен в табл. 1.

Таблица 1

Химический состав исходных материалов

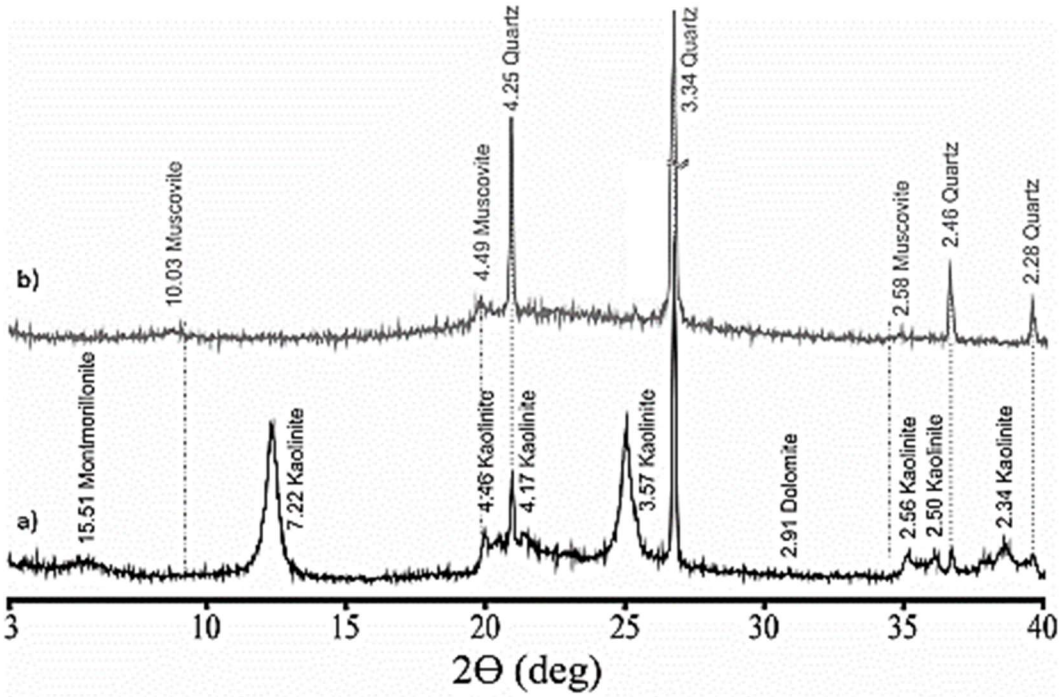
Исходный материал	Содержание (%)								
	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	Na_2O	K_2O	MgO	другие оксиды	ППП
Глина 1	51,44	33,22	0,65	0,18	0,16	1,18	0,57	1,44	11,16
Глина 2	62,28	25,56	1,11	0,20	0,20	0,59	0,62	1,28	8,16
Шлак	37,49	11,58	0,16	36,22	0,64	0,95	8,61	4,35	-

Удельная поверхность шлака после помола составила 320 м^2/кг, глин после обжига и помола – 540 м^2/кг. Для активации термоактивированных глин использовались водные растворы 5, 8, 11, 14 М NaOH.

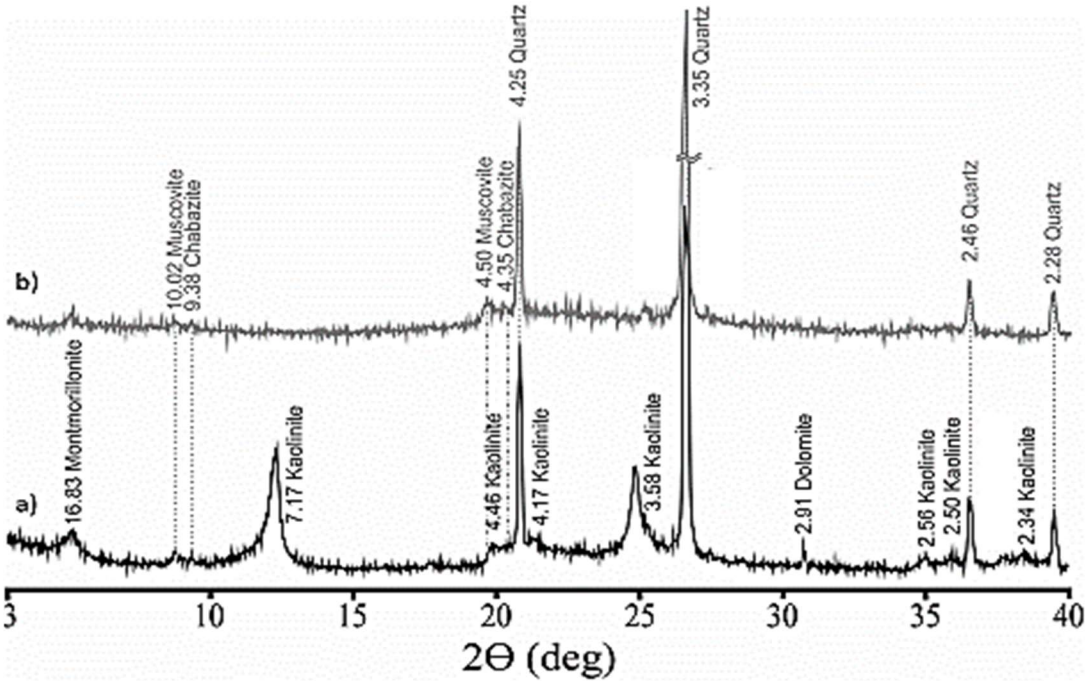
Доменный гранулированный шлак на 97 % состоял из аморфной фазы с незначительным содержанием минералов кристаллической структуры – кальцита $CaCO_3$ и акерманита $Ca_2(Mg_{0.75}Al_{0.25})(Si_{1.75}Al_{0.25}0_7)$.

Дифрактограммы глин в исходном и термоактивированном состоянии представлены на рис. 1. Минеральный состав глин в исходном состоянии представлен каолинитом $Al_2(Si_2O_5)(OH)_4$, кварцем SiO_2, мусковитом $K_{0.77}Al_{1.93}(Al_{0.5}Si_{3.5})O_{10}(OH)_2$. Монтмориллониты состава $Ca_{0.2}(Al,Mg)_2Si_4O_{10}(OH)_2 \cdot xH_2O$ и $Na,Ca_{0.3}Al_2(Si,Al)_4O_{10}(OH)_2 \cdot xH_2O$ также были обнаружены в глинах 1 и 2, соответственно. В обеих глинах также обнаружены следы доломита $Ca(Ca_{0.17}Mg_{0.83})(CO_3)$ и шабазита $Ca_{1.36}Sr_{0.3}Al_{3.8}Si_{8.3}O_{24}(H_2O)_{7.68}$. Термическая обработка глин при 800ºС привела к исчезновению пиков, относящихся к глинистым минералам, что свидетельствует об их аморфизации. На рис. 2 приведены результаты термического анализа. Эндотермические пики при 50°С соответствуют потере адсорбционной воды, при 440-540 – дегидрооксилированию каолинита и в диапазоне 700-850°С – дегидрооксилированию монтмориллонита. Общие потери масс у глин 1 и 2 составили 15,2 % и 9,6 %, соответственно. Высокая интенсивность пиков глинистых

минералов и потери масс позволяет предположить более высокое содержание глинистых минералов в глине 1 в сравнении с глиной 2.



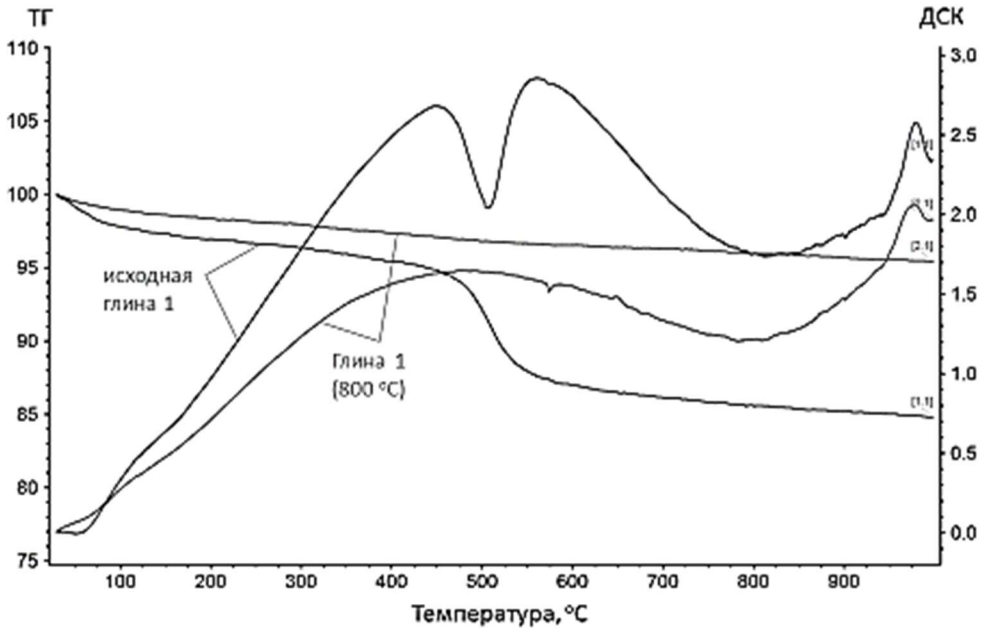
а)



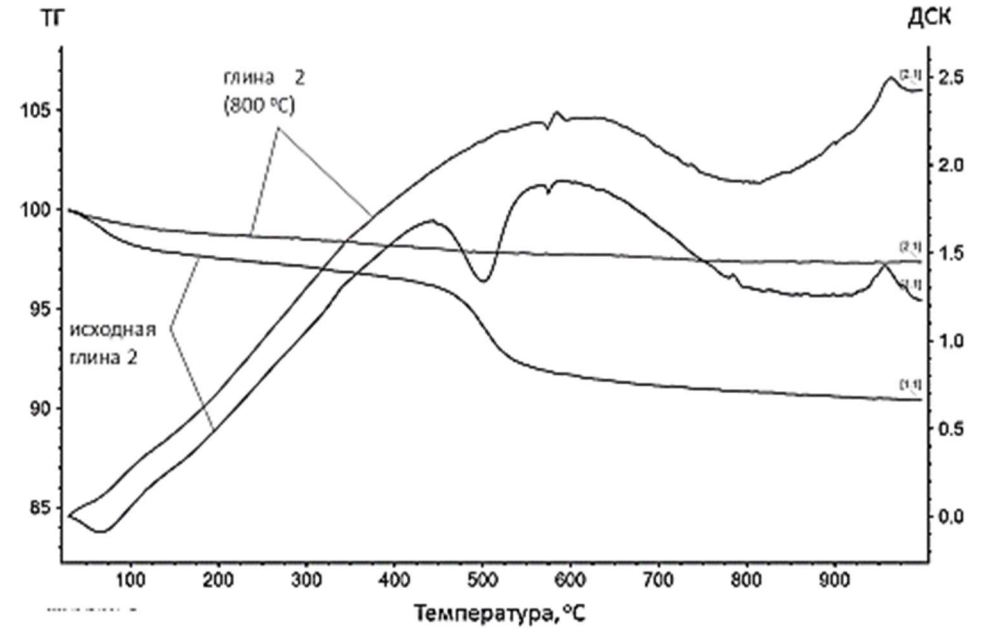
б)

Рис. 1. Дифрактограммы глины в исходном 1 (а) и термоактивированном состоянии 2 (б) (иллюстрация авторов)

Результаты определения содержания аморфной фазы глин и ее состава приведены в табл. 2. Глина 1 содержит почти вдвое больше аморфной фазы, чем глина 2, что позволяет предполагать ее большую реакционную способность в составе АЩЦ.



а)



б)

Рис. 2. Результаты термического анализа глины 1 (а) и глины 2 (б) (иллюстрация авторов)

Таблица 2

Содержание реакционноспособной фазы и соотношение реакционноспособных оксидов SiO_2/Al_2O_3 в термоактивированных глинах

Глина	Содержание реакционноспособной фазы (%)	Соотношение реакционноспособных SiO_2/Al_2O_3
Глина 1	60	1,54
Глина 2	33	1,72

Глины обжигались при температуре 800°С в течение 1 ч. Исходные материалы измельчались в планетарной мельнице МПЛ-1, их удельная поверхность определялась на приборе ПСХ-9. Прочность при сжатии образцов определялась испытанием образцов

камня размером 2×2×2 см в возрасте 2 и 28 суток после твердения в нормально-влажностных условиях. Состав продуктов твердения образцов определялся в возрасте 28 суток методами рентгенофазового анализа (РФА) с использованием DIFFRAC plus Evaluation Package – EVASearch/Match, термогравиметрическим (ТГ-ДТГ) с использованием STA 443 F3 Jupiter simultaneous thermal analysis apparatus.

3. Результаты

На рис. 3 приведены результаты исследования влияния содержания и вида глины на прочность при сжатии в возрасте 2 и 28 суток композиционных шлакощелочных вяжущих (КШЩВ). Из приведенных данных следует, что с увеличением содержания термоактивированных глин прочность при сжатии КШЩВ в возрасте 2 суток снижается. При этом более существенное снижение прочности отмечено для составов с добавкой из термоактивированной глины 2. Прочность КШЩВ в возрасте 28 суток остается практически неизменной при введении термоактивированной глины 1 до 30 % и снижается до 9,3 % при введении термоактивированной глины 2 при том же количественном содержании. Более высокая совместимость шлака с термоактивированной глиной 1 объясняется более высоким содержанием аморфной фазы по сравнению с глиной 2 и, как следствие, реакционной способностью последней.

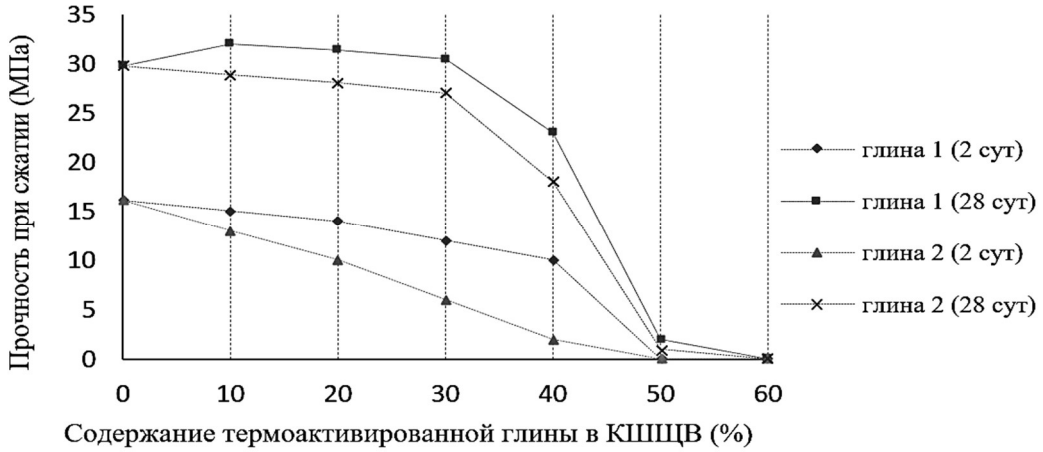
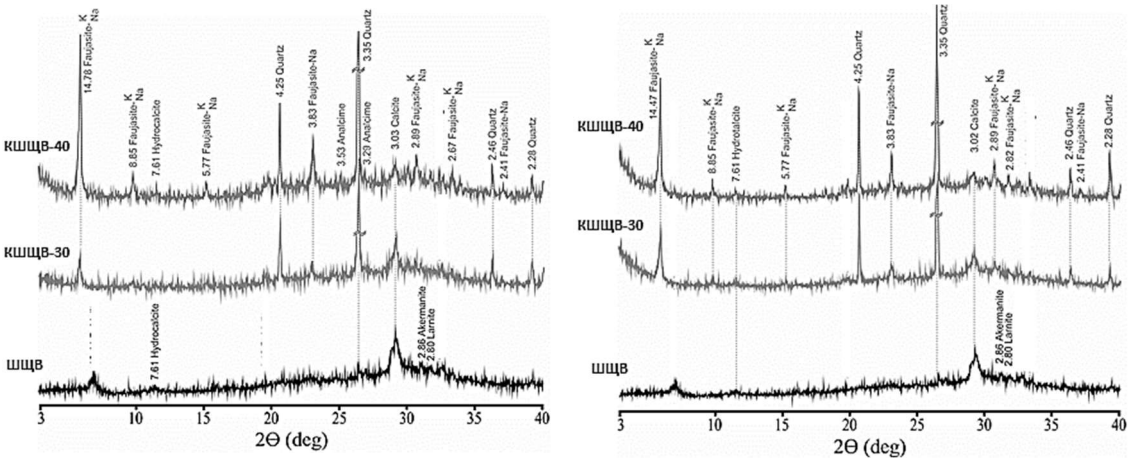


Рис. 3. Влияние содержания добавок термоактивированной глины на прочность КШЩВ (иллюстрация авторов)

Для определения причин резкого снижения прочности образцов в возрасте 28 суток при увеличении содержания добавок термоактивированных глин в составе КШЩВ более 30 % исследован состав продуктов твердения контрольного состава шлакощелочного вяжущего (ШЩВ) и КШЩВ с добавками термоактивированных глин в количестве 30 и 40 %. Дифрактограммы образцов ШЩВ и КШЩВ представлены на рис. 4.

В образце контрольного состава ШЩВ обнаружены рентгеноаморфный гель C-(A)-S-H, о чем свидетельствует широкий пик в диапазоне 28-31° 2Ѳ, а также кристаллические гидроталькит $Mg_{0.667}Al_{0.333})(OH)_2(CO_3)_{0.167}(H_2O)_{0.5}$ и кальцит $CaCO_3$. Введение термоактивированных глин приводит к изменению состава геля и к образованию новых продуктов твердения. Анализ ранее выполненных исследований по влиянию термоактивированных глин с различным содержанием реакционноспособной фазы на состав продуктов реакции КШЩВ [16, 21, 22] позволяет предполагать образование геля смешанного состава C-N-(A)-S-H, что подтверждается образованием цеолитов в композиционных вяжущих системах [23, 24]. Широкий пик, относящийся к гелю C-N-(A)-S-H, сужается и становится менее выраженным при замене шлака 30 % термоактивированных глин, что свидетельствует об уменьшении объема его образования. Почти полное исчезновение пика в диапазоне 28-31° 2Ѳ, в КШЩВ с добавками 40 % термоактивированных глин свидетельствует о резком снижении объема образования геля C-N-(A)-S-H, это связано с уменьшением содержания реакционноспособной фазы в исходных материалах при неизменном и низком содержании щелочного компонента и

объясняет значительное ухудшение механических свойств КШЩВ. Кроме того, увеличение содержания добавок термоактивированных глин более 30 % приводит к образованию цеолитов – фожазита-$NaNa_2Al_2Si_4O_{12}\cdot 8H_2O$, фожазита-K, анальцима $Na_{10}Mg_3Al_{16}Si_{32}O_{96}\cdot 25H_2O$, и снижению содержания Ca-содержащих новообразований – кальцита и гидротальката.



а) б)

Рис. 4. Дифрактограммы образцов ШЩВ и КШЩВ с добавкой 30 % (КШЩВ-30) и 40 % (КШЩВ-40) термоактивированных глин 1 (а) и 2 (б) (иллюстрация авторов)

Снижение содержания алюмосиликатного геля в КШЩВ с добавками термоактивированных глин более 30 % подтверждено также термическим анализом. Потери масс в диапазоне 50-200ºС, свидетельствующие о дегидратации алюмосиликатного геля и гидротальката [25], в контрольном составе составили – 9,5 %, КШЩВ с 30 % термоактивированной глины 1 – 5,6 %, с 40 % – 5,2 %.

4. Обсуждение

Анализ полученных результатов позволил выявить особенности процессов свойство- и структурообразования КШЩВ с добавками термоактивированных глин. Более высокая реакционная способность глины с содержанием аморфной фазы 60 %, по сравнению с глиной с содержанием аморфной фазы 33 %, обеспечивает более высокую совместимость со шлаком при низком содержании щелочного компонента и позволяет производить замену шлака в количестве до 30 % без снижения прочности при сжатии КШЩВ в возрасте 28 суток. Влияние термоактивированных глин на механические свойства связано с содержанием и составом аморфной фазы в них на состав и объём продуктов твердения КШЩВ. Общее уменьшение содержания аморфной фазы и изменение ее состава в направлении снижения реакционноспособного Ca с одновременным увеличением Si и Al в смеси шлака и термоактивированных глин при возрастающем соотношении «шлак/термоактивированная глина» приводит к снижению объема образования кальциево-натриевого алюмосиликатного гидрогеля, определяющего механические свойства камня на основе КШЩВ. В результате этих изменений замена шлака термоактивированной глины приводит к снижению объема образования алюмосиликатного гидрогеля как носителя прочности искусственного каменного материала на основе КШЩВ и изменения его состава, сопровождающегося формированием новообразований цеолитов. Ухудшение механических свойств образцов на основе КШЩВ также связано с формированием пористых и малопрочных цеолитовых новообразований. Термоактивированная глина с содержанием аморфной фазы 33 % не обладает достаточной реакционной способностью для использования в качестве полноценной замены шлака в составе КШЩВ при низком содержании щелочного активатора.

5. Заключение

1. Возможность использования термоактивированных глин в качестве дополнительного алюмосиликатного компонента и их влияние на механические свойства и состав продуктов твердения КШЩВ в значительной степени определяется содержанием реакционноспособной фазы в глинах.

2. Установлена пригодность термоактивированной глины с содержанием аморфной фазы 60 % для замены шлака до 30 % без снижения прочности и получения КШЩВ, активированного щелочным компонентом низкой концентрации, с прочностью при сжатии 30 МПа в возрасте 28 суток.

3. Термоактивированная глина с содержанием аморфной фазы 33 % не обладает достаточной реакционной способностью и непригодна для получения КШЩВ при низком содержании щелочного компонента.

4. Полученные результаты расширяют представления о сырьевом потенциале термоактивированных глин для получения бесклинкерных низкообжиговых КШЩВ.

Список библиографических ссылок

1. Khalifa A. Z., Cizer Ö., Pontikes Y., Heath A., Patureau P., Bernal S. A., Marsh A. T. M. Advances in alkali-activation of clay minerals // Cement and Concrete Research. 2020. № 132. P. 106050. DOI: 10.1016/j.cemconres.2020.106050.
2. Rakhimova N. R., Rakhimov R. Z. Advances in development of calcined clays as supplementary cementitious materials // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2020. № 890. P. 012085. DOI: 10.1088/1757-899X/890/1/012085.
3. Халиуллин М. И., Файзрахманов И. И. Влияние пластифицирующей добавки на состав композиционного гипсового вяжущего с применением термоактивированной глины // Известия КГАСУ. 2019. № 3 (49). С. 190–196.
4. Рахимов Р. З., Рахимова Н. Р., Гайфуллин А. Р., Бикмухаметов А. Р., Морозов В. П. Влияние состава и температуры прокаливания добавок каолиновой и полиминеральной глины в портландцемент на свойства цементного камня // Известия КГАСУ. 2019. № 3 (49). С. 172–180.
5. Provis J. L., van Deventer J. S. J. Alkali activated materials: State-of-the-Art Report. RILEM. TC 224-AAM. : Springer, 2014.
6. Pacheco-Torgal F., Labrincha J., Leonelli C., Palomo A., Chindaprasit P. Handbook of alkali-activated cements, mortars and concretes : Elsevier, 2014.
7. Bature A. S., Khorami M., Ganjian E., Tyrer M. Influence of alkali activator type and proportion on strength performance of calcined clay geopolymer mortar // Construction and Building Materials. 2021. № 267. P. 120446. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2020.120446.
8. Rakhimova N. R. Recent advances in blended alkali-activated cements: a review // European Journal of Environmental and Civil Engineering. 2020. DOI: 10.1080/19648189.2020.1858170.
9. Рахимова Н. Р. Получение цеолитсодержащих материалов на основе термоактивированных глин // Техника и технология силикатов. 2020. № 3. С. 85–90.
10. Xue L., Zhang Z., Wang H. Hydration mechanisms and durability of hybrid alkaline cements (HACs): A review // Construction and Building Materials. 2021. № 266. P. 121039. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2020.121039.
11. Garcia-Lodeiro I., Boudissa N., Fernandez-Jimenez A., Palomo A. Use of clays in alkaline hybrid cement preparation. The role of bentonites // Materials Letters. 2018. № 233. P. 134–137. DOI: 10.1016/j.matlet.2018.08.098.
12. Yip C. K., Lukey G. C., van Deventer J. S. J. The coexistence of geopolymeric gel and calcium silicate hydrate of alkaline activation // Cement and Concrete Research. 2005. № 35 (9). P. 1688–1697. DOI: 10.1016/j.cemconres.2004.10.042.
13. Puertas F., Fernandez-Jimenez A. Mineralogical and microstructural characterization of alkali-activated fly ash/slag pastes // Cement and Concrete Composites. 2003. № 25 (3). P. 287–292. DOI: 10.1016/S0958-9465(02)00059-8.

14. Buchwald A., Tatarin R., Stephan D. Reaction progress of alkaline-activated metakaolin-ground granulated blast furnace slag blends // Journal of Materials Science. 2009. № 44 (20). P. 5609–5617. DOI: 10.1007/s10853-009-3790-3.
15. Paradal X., Brunet F., Charpentier T., Pochard I., Nonat A. ^{27}Al and ^{29}Si solid-state NMR characterization of calcium-aluminosilicate-hydrate // Inorganic Chemistry. 2012. № 5. P. 1827–1836. DOI: 10.1021/ic202124x.
16. Bernal S. A., de Gutierrez R. M., Provis J. L., Rose V. Effect of silicate modulus and metakaolin incorporation on the carbonation of alkali silicate-activated slags // Cement and Concrete Research. 2010. № 40 (6). P. 898–907. DOI: 10.1016/j.cemconres.2010.02.003.
17. Borges P. H. R., Banthia N., Alcamand H. A., Vasconcelos W. L., Nunes E. H. M. Performance of blended metakaolin/blast furnace slag alkali-activated mortars // Cement and Concrete Composites. 2016. № 71. P. 42–52. DOI: 10.1016/j.cemconcomp.2016.04.
18. Dietel J., Warr L. N., Bertmer M., Steudel A., Grathoff G. H., Emmerich K. The importance of specific surface area in the geopolymerization of heated illitic clay // Applied Clay Science. 2017. № 139. P. 99–107. DOI: 10.1016/j.clay.2017.01.001.
19. D'Elia A., Pinto D., Eramo G., Giannossa L. C., Ventruti G., Laviano R. Effects of processing on the mineralogy and solubility of carbonate-rich clays for alkaline activation purpose: Mechanical, thermal activation in red/ox atmosphere and their combination // Applied Clay Science. 2018. № 152. P. 9–21. DOI: 10.1016/j.clay.2017.11.036.
20. Rieger D., Kovářík T., Říha J., Medlín R., Novotný P., Bělský P., Holba P. Effect of thermal treatment on reactivity and mechanical properties of alkali activated shale-slag binder // Construction and Building Materials. 2015. № 83. P. 26–33. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2015.02.024.
21. Burciaga-Díaz O., Escalante-García J. I. Comparative performance of alkali activated slag/metakaolin cement pastes exposed to high temperatures // Cement and Concrete Composites. 2017. № 84. P. 157–166. DOI: 10.1016/j.cemconcomp.2017.09.007.
22. Rashad A. M., Essa G. M. F. Effect of ceramic waste powder on alkali-activated slag pastes cured in hot weather after exposure to elevated temperature // Cement and Concrete Composites. 2020. P. 103617. DOI: 10.1016/j.cemconcomp.2020.103617.
23. Puertas F., Palacios M., Manzano H., Dolado J. S., Rico A., Rodríguez J. A model for C-A-S-H gel formed in alkali activated slag cements // Journal of European Ceramic Society. 2011. № 31 (12). P. 2043–2056. DOI: 10.1016/j.jeurceramsoc.2011.04.036.
24. Provis J. L., van Deventer J. S. J. Geopolymers: Structure, Processing, Properties and Industrial Applications, Woodhead Publishing Ltd. Sawston Cambridge (UK). 2009. 454 p.
25. Ben Haha M., Le Saout G., Winnefeld F., Lothenbach B. Influence of activator type on hydration kinetics, hydrate assemblage and microstructural development of alkali activated blast-furnace slags // Cement and Concrete Research. 2011. № 41. P. 301–310. DOI: 10.1016/j.cemconres.2010.11.016.

Rakhimova Nailia Ravilevna
doctor of technical sciences, professor
Email: rahimova.07@list.ru
Rakhimova Ravil Zufarovich
doctor of technical sciences, professor
Email: rahimov5@bk.ru
Kazan State University of Architecture and Engineering
The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

Influence of calcined clays additions on the composition of reaction products and properties of compositional alkali-activated slag cements with low content of alkali reactant

Abstract

Problem statement. The purpose of the study is to investigate the features of the property- and structure-formation processes of binary ground granulated blast furnace slag – calcined

clays cements activated by 4M NaOH concerning percentage, amount and chemistry of reactive phase of calcined clays.

Results. The main reaction products of compositional alkali-activated slag cement were C-N-(A)-S-H gel, calcite, zeolites, faujazite, analcime. Compositional alkali-activated slag cement incorporated with 28 days compressive strength up to 30 MPa is proposed as a result of performed studies.

Conclusions. It is stated that thermally treated clay with a 60 % of reactive phase was found to be suitable as a supplementary precursor to granulated blast furnace slag. The significance of the results obtained for the construction industry lies in the fact that the presented results contribute to the development of theoretical basis, raw materials base and range of non-clinker low-temperature mineral binders.

Keywords: slag, clay, alkali, binder, calcination, strength.

For citation: Rakhimova N. R., Rakhimov R. Z. Influence of calcined clays additions on the composition of reaction products and properties of compositional alkali-activated slag cements with low content of alkali reactant // Izvestija KGASU. 2021. № 2 (56). P. 50–59. DOI: 10.52409/20731523_2021_2_50.

References

1. Khalifa A. Z., Cizer Ö., Pontikes Y., Heath A., Patureau P., Bernal S. A., Marsh A. T. M. Advances in alkali-activation of clay minerals// Cement and Concrete Research. 2020. № 132. P. 106050. DOI: 10.1016/j.cemconres.2020.106050.
2. Rakhimova N. R., Rakhimov R. Z. Advances in development of calcined clays as supplementary cementitious materials // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2020. № 890. P. 012085. DOI: 10.1088/1757-899X/890/1/012085.
3. Haliullin M. I., Fajzrahmanov I. I. Vliyanie plastificiruyushchej dobavki na sostav kompozicionnogo gipsovogo vyazhushchego s primeneniem termoaktivirovannoj gliny // Izvestiya KGASU. 2019. № 3 (49). P. 190–196.
4. Rahimov R. Z., Rahimova N. R., Gajfullin A. R., Bikmuhametov A. R., Morozov V. P. Vliyanie sostava i temperatury prokalivaniya dobavok kaolinovoj i polimineral'noj gliny v portlandcement na svojstva cementnogo kamnya // Izvestiya KGASU. 2019. № 3 (49). P. 172–180.
5. Provis J. L., van Deventer J. S. J. Alkali activated materials: State-of-the-Art Report. RILEM. TC 224-AAM.: Springer, 2014.
6. Pacheco-Torgal F., Labrincha J., Leonelli C., Palomo A., Chindaprasit P. Handbook of alkali-activated cements, mortars and concretes : Elsevier, 2014.
7. Bature A. S., Khorami M., Ganjian E., Tyrer M. Influence of alkali activator type and proportion on strength performance of calcined clay geopolymer mortar // Construction and Building Materials. 2021. № 267. P. 120446. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2020.120446
8. Rakhimova N. R. Recent advances in blended alkali-activated cements: a review // European Journal of Environmental and Civil Engineering.2020. DOI: 10.1080/19648189.2020.1858170.
9. Rahimova N. R. Poluchenie ceolitsoderzhashchih materialov na osnove termoaktivirovannyh glin // Tekhnika i tekhnologiya silikatov. 2020. № 3. C. 85–90.
10. Xue L., Zhang Z., Wang H. Hydration mechanisms and durability of hybrid alkaline cements (HACs): A review // Construction and Building Materials. 2021. № 266. P. 121039. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2020.121039.
11. Garcia-Lodeiro I., Boudissa N., Fernandez-Jimenez A., Palomo A. Use of clays in alkaline hybrid cement preparation. The role of bentonites // Materials Letters. 2018. № 233. P. 134–137. DOI: 10.1016/j.matlet.2018.08.098.
12. Yip C. K., Lukey G. C., van Deventer J. S. J. The coexistence of geopolymeric gel and calcium silicate hydrate of alkaline activation // Cement and Concrete Research. 2005. № 35 (9). P. 1688–1697. DOI: 10.1016/j.cemconres.2004.10.042.

13. Puertas F., Fernandez-Jimenez A. Mineralogical and microstructural characterization of alkali-activated fly ash/slag pastes // Cement and Concrete Composites. 2003. № 25 (3). P. 287–292. DOI: 10.1016/S0958-9465(02)00059-8.
14. Buchwald A., Tatarin R., Stephan D. Reaction progress of alkaline-activated metakaolin-ground granulated blast furnace slag blends // Journal of Materials Science. 2009. № 44 (20). P. 5609–5617. DOI: 10.1007/s10853-009-3790-3.
15. Paradal X., Brunet F., Charpentier T., Pochard I., Nonat A. ^{27}Al and ^{29}Si solid-state NMR characterization of calcium-aluminosilicate-hydrate // Inorganic Chemistry. 2012. № 5. P. 1827–1836. DOI: 10.1021/ic202124x.
16. Bernal S. A., de Gutierrez R. M., Provis J. L., Rose V. Effect of silicate modulus and metakaolin incorporation on the carbonation of alkali silicate-activated slags // Cement and Concrete Research. 2010. № 40 (6). P. 898–907. DOI: 10.1016/j.cemconres.2010.02.003.
17. Borges P. H. R., Banthia N., Alcamand H. A., Vasconcelos W. L., Nunes E. H. M. Performance of blended metakaolin/blast furnace slag alkali-activated mortars // Cement and Concrete Composites. 2016. № 71. P. 42–52. DOI: 10.1016/j.cemconcomp.2016.04.
18. Dietel J., Warr L.N., Bertmer M., Steudel A., Grathoff G. H., Emmerich K. The importance of specific surface area in the geopolymerization of heated illitic clay // Applied Clay Science. 2017. № 139. P. 99–107. DOI: 10.1016/j.clay.2017.01.001.
19. D'Elia A., Pinto D., Eramo G., Giannossa L. C., Ventruti G., Laviano R. Effects of processing on the mineralogy and solubility of carbonate-rich clays for alkaline activation purpose: Mechanical, thermal activation in red/ox atmosphere and their combination // Applied Clay Science. 2018. № 152. P. 9–21. DOI: 10.1016/j.clay.2017.11.036.
20. Rieger D., Kovářík T., Říha J., Medlín R., Novotný P., Bělský P., Holba P. Effect of thermal treatment on reactivity and mechanical properties of alkali activated shale-slag binder // Construction and Building Materials. 2015. № 83. P. 26–33. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2015.02.024
21. Burciaga-Díaz O., Escalante-García J. I. Comparative performance of alkali activated slag/metakaolin cement pastes exposed to high temperatures //Cement and Concrete Composites. 2017. № 84. P. 157–166. DOI: 10.1016/j.cemconcomp.2017.09.007.
22. Rashad A. M., Essa G. M. F. Effect of ceramic waste powder on alkali-activated slag pastes cured in hot weather after exposure to elevated temperature // Cement and Concrete Composites. 2020. P. 103617. DOI: 10.1016/j.cemconcomp.2020.103617.
23. Puertas F., Palacios M., Manzano H., Dolado J. S., Rico A., Rodríguez J. A model for C-A-S-H gel formed in alkali activated slag cements // Journal of European Ceramic Society. 2011. № 31 (12). P. 2043–2056. DOI: 10.1016/j.jeurceramsoc.2011.04.036.
24. Provis J. L., van Deventer J. S. J. Geopolymers: Structure, Processing, Properties and Industrial Applications, Woodhead Publishing Ltd. Sawston Cambridge (UK). 2009. 454 p.
25. Ben Haha M., Le Saout G., Winnefeld F., Lothenbach B. Influence of activator type on hydration kinetics, hydrate assemblage and microstructural development of alkali activated blast-furnace slags // Cement and Concrete Research. 2011. № 41. P. 301–310. DOI: 10.1016/j.cemconres.2010.11.016.

УДК 691.33
Хозин Вадим Григорьевич
доктор технических наук, профессор
Email: khozin.vadim@yandex.ru
Хохряков Олег Викторович
кандидат технических наук, доцент
Email: olvik@list.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет
Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1
Козлов Роман Владимирович
руководитель отдела проектно-изыскательных работ
Email: kozlov-roman@bk.ru
АО «Татарское специальное научно-реставрационное управление»
Адрес организации: 420095, Россия, г. Казань, ул. Восстания, д. 100, корп. 209

Экологический рейтинг «карбонатных» цементов низкой водопотребности и бетонов на их основе

Аннотация

Постановка задачи. Оценить «карбонатные» цементы низкой водопотребности и бетоны на их основе по экологическим показателям, рассчитываемым по клинкероёмкости вяжущих.

Результаты. Разработанные авторами «карбонатные» цементы низкой водопотребности с содержанием клинкера от 20 до 70 % превосходят стандартные цементы по всем техническим показателям и способны заменить их при производстве бетонов, имея при этом самый низкий «углеродный след», оцениваемый по экологическому рейтингу, предложенному Л. Эвансом и М. Муттером. Предлагается рассматривать экологический рейтинг не только для цемента, но и для цементного бетона и конструкций из него, охватывая весь их жизненный цикл вплоть до этапа утилизации демонтируемого объекта. Рассчитан экологический показатель $К^{ц}_{CO2}$ «карбонатных» цементов низкой водопотребности и показано, что по сравнению с европейскими цементами, также содержащими добавки известняков, он ниже в 2 раза.

Выводы. Значимость полученных результатов для строительной отрасли состоит в обосновании использования «карбонатных» цементов низкой водопотребности, как обладающих наиболее низким содержанием цементного клинкера, что отвечает самым жестким экологическим требованиям по объемам выбросов углекислого газа в атмосферу.

Ключевые слова: «карбонатные» цементы низкой водопотребности, экологический рейтинг, выбросы CO_2, бетон, цемент.

Для цитирования: Хозин В. Г., Хохряков О. В., Козлов Р.В. Экологический рейтинг «карбонатных» цементов низкой водопотребности и бетонов на их основе // Известия КГАСУ. 2021. № 2 (56). С. 60–66. DOI: 10.52409/20731523_2021_2_60.

1. Введение

С 1 января 2019 года вступил в силу Федеральный закон от 21.07.2014 № 219-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон «Об охране окружающей среды» и отдельные законодательные акты Российской Федерации», предусматривающие переход на технологическое нормирование на принципах наилучших доступных технологий (НДТ) и применение дифференцированных мер государственного регулирования к объектам, в зависимости от их негативного воздействия на окружающую среду (НВОС). Экологическое нормирование предусматривает учет категории объекта, оказывающей такое воздействие. Предприятия по производству цементного клинкера относятся к объектам I категории по уровню НВОС, в первую очередь, вследствие больших выбросов углекислого газа (CO_2) и NO. Поэтому снижение клинкероёмкости является главным экологическим устремлением мировой цементной и бетонной индустрии [1-3]. Её доля в мировом выбросе углекислого

газа составляет 7-8 % от всего объема парниковых газов, поступающих в атмосферу Земли в результате производственной деятельности человечества [4-5].

В российском журнале «Цемент и его применение» опубликована знаковая статья специалистов-цементников из Великобритании Л. Эванса и М. Муттера «Экологический рейтинг цемента» [6], в которой предлагается обобщенный экологический показатель производства цементов, равный отношению выбросов CO_2 при производстве 1 т бездобавочного вяжущего к его нормативной прочности при сжатии (в 28 суточном возрасте), определенный по EN 197-1:2011. Рейтинг имеет размерность [кг CO_2/(т·МПа)]. Авторами предлагается маркировочная шкала экологического рейтинга (обозначено $К^{ц}_{CO2}$) со значениями от 5.99 кг/(т·МПа) – меньший «углеродный след» до 16.00 и более – бóльший «углеродный след».

Отмечается, что снижение доли клинкера в цементе, содержащем минеральные добавки, уменьшает удельный выброс CO_2, но не всегда улучшает экологический рейтинг, т.к. при этом снижается его прочность (R_{28}). Это чётко прослеживается по показателю $К_{CO2}$ типичных европейских цементов (табл. 1), содержащих добавки известняка CEM II/A-LL (6-12 %), CEM II/B-LL (21-35 %) в сравнении с CEM IV/A-V, содержащем до 35 % золы-уноса.

Таблица 1

Показатель рейтинга цементов, выпускаемых типичным европейским заводом, и удельные выбросы CO_2 при их производстве [2]

Тип цемента	Показатель рейтинга, кг CO_2/(т цемента·МПа) (28-суточная прочность при сжатии)	Удельные выбросы, кг CO_2/т цемента
CEM II/A-LL 42.5R	13,4	700
CEM II/A-LL 32.5R	13,4	649
CEM II/B-LL 32.5R	15,7	573
CEM IV/A-V 32.5R	12,2	571

Очевидно, что низкие значения прочности цементов с добавками известняка обусловлены недомолом клинкера при его совместном помоле с более мягким вторым компонентом (для производителя цемента это выгодно, так как можно снизить энергозатраты на помол при сохранении нормируемой удельной поверхности смешанного цемента). Экологические преимущества цемента с золой-уноса ТЭС (CEM IV/A-V 32.5R) обеспечиваются его более низкой клинкероёмкостью и высокой прочностью, обусловленной одинаковым помолом пуццоланической добавки и клинкера.

Разработанная авторами технология «карбонатных» цементов низкой водопотребности – ЦНВ-КБ, основанная на раздельно-последовательном помоле ПЦ-клинкера с суперпластификатором и карбонатными породами (известняками, доломитами) позволяет получать композиционные цементы с низким содержанием клинкера (30-70 %), но высокой нормативной прочностью (классом) и лучшими технологическими показателями: подвижностью цементного теста, скоростью твердения и др. [7, 8].

По комплексу всех свойств ЦНВ-КБ не только не уступают стандартным общестроительным портландцементам, но и превосходят их по экономическим и экологическим показателям. Технология их производства соответствует критериям наилучших доступных технологий (НДТ) по энергосбережению, минимуму выбросов и сбросов (НВОС), а с учетом возможности и целесообразности использования отходов известняка (карьерных высевок фракции 0-10 мм) она относится к малоотходным ресурсосберегающим. Технология легко может быть реализована на существующих цементных заводах и автономных помольных установках.

В связи с этим представляет интерес сравнение экологического рейтинга этих цементов, оцениваемого по описанной выше методике – $К^{ц}_{CO2}$ [кг CO_2/т·МПа], с показателями рейтинга стандартных цементов. При их определении авторы опирались на указанные в статье [1] показатели рядового цемента CEM I 52.5N в Европе: выбросы CO_2 – 828 кг/т цемента, 28-суточная прочность при сжатии $R^{ц}_{28}$ – 63 МПа. Отсюда его рейтинг $К^{ц}_{CO2}$ равен 13,14 (табл. 2).

Таблица 2

Сравнительные показатели экологического рейтинга европейских цементов и «карбонатных» ЦНВ-КБ (с содержанием клинкера 30, 50, 70 %)

№	Тип цемента	Содержание клинкера, %	R^{c}_{28}, МПа	Удельные выбросы кг CO_2/т Ц	Рейтинг $К^{ц}_{CO2}$ кг CO_2/т·МПа
1	CEM I 52.5N (европейский)	95-100	63	828	13,14
2	CEM II/A-L 42.5N (европейский)	80-94	53	747	14,1
3	ЦНВ-30КБ	30	37	248	6,7
4	ЦНВ-50КБ	50	73	414	5,67
5	ЦНВ-70КБ	70	87	580	6,66

Как видно из данных табл. 1-2, экологические преимущества «карбонатных» ЦНВ перед европейскими цементами, содержащими добавки известняка и золы-уноса, весьма велики – их показатель $К^{ц}_{CO_2}$ в 2 раза меньше.

Основное применение цемента в мире – бетон, поэтому снижение расхода цемента в нём и, тем самым, клинкероёмкости является главной задачей экологизации бетонного строительства. На втором этапе жизненного цикла цемента в составе бетона «углеродный след» логично оценивать соответственно его доле в кубометре бетона, а если использовать тот же смысл рейтинга $К_{CO_2}$, то удельные выбросы CO_2 на производство доли цемента в составе бетона также целесообразно отнести к марочной (28 суток) прочности самого бетона.

$$K^{Б}_{CO2} = \frac{кгCO_2 \cdot Ц(т)}{R_Б(МПа)}, \quad (1)$$

где кг CO_2 – выбросы CO_2 в кг при производстве 1 т цемента;
Ц (т) – расход цемента в т на 1 м^3 бетона;
$R^{Б}_{CO_2}$ – нормативная прочность бетона при сжатии (28 суток) в МПа.

Этот экологический показатель (рейтинг) бетона в случае его учета потребителями, государственными структурами, экологами, должен стимулировать производителей бетона применять не только цементы с низким $К^{Ц}_{CO_2}$, но и с меньшим его содержанием в бетоне на единицу прочности последнего.

Современный тренд в мировом бетонном строительстве – это высокопрочные бетоны (R_{28} = 120-150 МПа и более) для производства несущих конструкций. Их применение даже при большем расходе цемента в 1 м^3 позволяет снизить рабочие сечения несущих элементов и, соответственно, их объем, расход арматурной стали и массу конструкций в целом [9]. Это обеспечивает существенный экологический эффект не только за счёт снижения расхода материалов на возведение строительного объекта, но и сокращения объема и стоимости строительно-монтажных работ [10]. Примечательно, что в Индии – второй стране после Китая по производству портландцемента, применение высокопрочных бетонов в конструкциях, позволяющее сократить расход цемента до 25 %, является одной из главных задач государственной программы экологизации строительства [11].

Цель данной работы – оценка «карбонатных» цементов низкой водопотребности и бетонов на их основе по экологическим показателям, рассчитываемым по клинкероёмкости вяжущих.

2. Материалы и методы

«Карбонатные» цементы низкой водопотребности получали по двухстадийной последовательно-раздельной технологии, которая заключается в предварительном измельчении портландцемента с суперпластификатором и последующим их домолом с карбонатным наполнителем. Использовали вибрационно-шаровую мельницу СВМ-3 ООО «Опытный завод со специальным бюро» (г. Москва) с мощностью двигателя 3 кВт и объемом помольной камеры 10 л.

Был использован бездобавочный портландцемент ЦЕМ I 42,5Б Мордовского цементного завода (ГОСТ 31108). В качестве суперпластификаторов приняты две

химические добавки на основе модифицированных эфиров поликарбоксилатов: порошкообразный Melflux 5581F (АО «Еврохим-1») и концентрированный 48 %-й водный раствор Stachement 2280 (ЗАО «Стахема-Волга»). Карбонатный наполнитель – известняковая мука, полученная из породы Бондюжского месторождения (РТ, г. Менделеевск). Свойства муки: истинная плотность – 2,7 г/см^3, насыпная плотность – 1,4 г/см^3, удельная поверхность – 300 м^2/кг.

3. Результаты

На первом этапе работы был определен экологический рейтинг тяжелого крупнозернистого бетона (табл. 3) в зависимости от вида применяемого цемента при равном содержании суперпластификаторов Melflux 5581F и Stachement 2280 от массы цементов – 0,6 % (по активному веществу), введенных в бетонную смесь или в состав ЦНВ (выбросы CO_2 на 1 т цемента взяты из табл. 2). Расчетные данные экологических показателей бетонов на разных цементах представлены в табл. 4.

Таблица 3

Составы и свойства тяжелого бетона на стандартном цементе и ЦНВ-50КБ

№	Вид цемента и суперпластификатора в нем	Расход материалов, кг/м^3 бетона					R^c_{28}, МПа	Удельный расход цемента на единицу прочности, кг/МПа
		цемент	песок $M_к$=2,6	щебень из гравия (фракция 5-20 мм)	вода	Melflux 5581F		
1	ЦЕМ I 42,5 Б	420	750	1100	160	0,6	41	10,24
2	ЦНВ-50КБ (Melflux 5581F – 0,6%)				113	-	76	5,52
3	ЦНВ-50КБ (Stachement 2280)				100	-	85	4,94

Таблица 4

Экологические показатели бетонов на разных цементах (составы в табл. 3)

Состав бетона	Вид цемента	Выбросы CO_2, кг на 1 т цемента	Выбросы CO_2, кг на 1м^3 бетона	Рейтинг $K^Б_{CO_2} = \frac{кгCO_2}{м^3 R^c_{28}}$
1	ЦЕМ I 42,5	828	347,8	$\frac{347,8}{41} = 8,48 \frac{кгCO_2}{м^3 МПа}$
2	ЦНВ-50КБ	414	173,9	$\frac{173,9}{76} = 2,28 \frac{кгCO_2}{м^3 МПа}$
3	ЦНВ-50КБ	414	173,9	$\frac{173,9}{85} = 2,05 \frac{кгCO_2}{м^3 МПа}$

4. Обсуждение

Как видно из табл. 3 бетоны на «карбонатных» ЦНВ при равном содержании минеральных компонентов и суперпластификатора, а также подвижности готовой смеси, имеют значительно меньшую водопотребность, чем на стандартном цементе, в 2 раза большую прочность в 28 суточном возрасте и, соответственно, меньший расход вяжущего на единицу прочности (кг/МПа). Логично, что и «углеродный след» бетона на «карбонатных» ЦНВ оказывается в 4 раза ниже, чем на стандартном цементе, что подтверждается расчетными данными табл. 4.

Следуя логике «экологического рейтинга» Эванса-Муттера [6], для аналогичной оценки конкретной несущей конструкции (и даже целого бетонного объекта) можно удельные выбросы CO_2 в кг на 1 м^3 бетона (табл. 4) умножить на расход бетона (м^3) в этой конструкции. В этом случае величина кг CO_2 конструкции (бетонного объема) будет обосновано характеризовать её экологический рейтинг.

По мнению авторов, «углеродный след» цемента может быть прослежен и оценен на всех трех этапах его жизненного цикла (от производства самого цемента до строительной конструкции из бетона). На четвертом этапе – утилизации конструкции из цементного бетона, вышедшей из строя или демонтированной, «судьба» цемента будет определяться технологией переработки бетонного лома в щебень [12] или его помолом

для получения гидравлически активного наполнителя – добавки в новый бетон. А это ресурсосбережение – главный показатель циркулярной экономики [13-15], в которой НДТ играет ведущую роль.

Не преминем добавить «ложку дегтя» в экологическую «бочку мёда» (или, наоборот), точнее, в ее «углеродную» часть. Речь о том, действительно ли столь значима роль углекислого газа в «парниковом эффекте», угрожающем нашей планете или это еще одна «бизнес-страшилка» на фоне не вызывающей сомнений «Концепции устойчивого развития», принятой почти всеми государствами в мире в 1992 г. в Рио-де-Жанейро. Опасная роль углекислого газа «вброшена» в мировые СМИ с далеко небескорыстной целью, как, в свое время, «пугало озоновых дыр».

В связи с этим авторы считают уместным процитировать автора книги «Сенсационная история Земли» [16]: «Если до широких масс, наконец, дойдет простейшая мысль о том, что всего одно крупное извержение вулкана выбрасывает в атмосферу гораздо больше углекислого газа, чем выработала вся человеческая индустрия за свою историю, то ограниченному кругу лиц будет куда сложнее набивать себе карманы за чужой счет, торгуя «квотами» на выброс углекислого газа в атмосферу.

А если правительства это поймут…, то перестанут принимать глупые и популистские решения и выбрасывать огромные бюджетные средства на «борьбу с ограничением роста температуры на планете» и, возможно, направят эти деньги на что-то более полезное».

5. Заключение

1. Проанализирована мировая тенденция по оценке влияния парниковых газов, образующихся в результате производственной деятельности человечества, на атмосферу Земли. Показано, что, в зависимости от их негативного воздействия на окружающую среду, вводятся новые экологические критерии для промышленных объектов, например, устанавливаются категории по уровню НВОС. Особое внимание уделяется заводам цементной промышленности, которые вследствие производственной деятельности, выделяют значительные объемы углекислого газа.

2. Разработанные авторами ранее [7, 8] составы и технология получения карбонатных цементов низкой водопотребности, согласно новым экологическим показателям, существенно превосходят общестроительные цементы. Это обеспечивается их низкой клинкероёмкостью, что, соответственно, приводит к меньшим выбросам углекислого газа при производстве ЦНВ. Эти цементы и бетоны на их основе превосходят самые жесткие экологические требования по удельным объемам выброса углекислого газа в атмосферу.

3. Предложена методика расчета «углеродного следа» (выбросов CO_2) бетона, учитывающая содержание клинкера в единице объема бетона и прочность последнего в нормативном возрасте, которая позволяет оценить весь жизненный цикл цемента от его производства до сноса строительной конструкции из бетона на его основе.

Список библиографических ссылок

1. Guynn J., Kline J. Maximizing SCM content of blended cements // IEEF – IAS/PCA Cement Industry Conf. IAS/PCACIC Toronto. 2015. P. 1–15.
2. Клайн Дж. Проектирование цементного завода будущего. Часть II // Цемент и его применение. 2019. № 1. С. 48–53.
3. Schneider M. The cement industry on the way to a low carbon future innovation and technical trends in cement production // Proc. 8th Jntern VDZ Congr. 2018 (Duesseldort, 26-28 September 2018). Düsseldorf. 2018. P. 55–72.
4. Andrew M. R. Global CO_2 emissions from cement production // Earth Syst. Sci. Data. 2017. URL: https://essd.copernicus.org/articles/10/195/2018 (дата обращения: 15.02.2021). DOI: 10.5194/essd-10-195-2018.
5. Friedlingstein P. et al. Global Carbon Budget 2020 // Earth Syst. Sci. Data. 2020. Vol. 12, P. 3269-3340. URL: https://essd.copernicus.org/articles/12/3269/2020/? (дата обращения: 15.02.2021). DOI: 10.5194/essd-12-3269-2020.

6. Эванс Л., Муттер М. Экологический рейтинг цемента // Цемент и его применение. 2019. № 4. С. 24–27.
7. Хозин В. Г., Хохряков О. В., Сибгатуллин И. Р., Гиззатуллин А. Р., Харченко И. Я. «Карбонатные» цементы низкой водопотребности – зеленая альтернатива цементной индустрии России // Строительные материалы. 2014. № 5. С. 76–82.
8. Хозин В. Г., Хохряков О. В., Низамов Р. К. Карбонатные цементы низкой водопотребности – перспективные вяжущие для цементных бетонов // Бетон и железобетон. 2020. № 1. С. 15–28.
9. Хозин В. Г., Ханифов Ф. М. Стратегия инновационного развития бетонного строительства в Республике Татарстан // БСТ. 2016. № 12. С. 45–47.
10. Низамов Р. К., Хозин В. Г., Никитин Г. П., Ханифов Ф. М. Экономить не цемент в бетоне, а бетон в конструкциях // Стройэкспертиза. Республика Татарстан. 2019. № 5. С. 12–15.
11. Chouksey Sh. Indian cement industry — evolution, growth and future challenges // «ALITинформ». International Analytical Review. 2017. № 1. P. 4–10.
12. Красиникова Н. М., Кириллова Е. В., Хозин В. Г. Вторичное использование бетонного лома в качестве сырьевых компонентов цементных бетонов // Строительные материалы. 2020. № 1-2. С. 56–65.
13. Александрова В. Д. Современная концепция циркулярной экономики // International Journal of Humanities and Natural Sciences. 2019. Vol. 5-1. P. 87–93.
14. Gureva M. A. The theoretical basis of the concept of cir circular economy // Journal of international economic affairs. 2019. № 3. P. 2311–2336. DOI: 10.18334/eo.9.3.40990.
15. Пахомова Н. В., Рихтер К. К, Ветрова М. А. Переход к циркулярной экономике и замкнутым цепям поставок как фактор устойчивого развития // Вестник Санкт-Петербургского университета. Экономика. 2017. № 5. С. 244–268. DOI: 10.21638/11701/spbu05.2017.203.
16. Скляров А. Ю. Сенсационная история Земли. Сколько на самом деле лет нашей планете? М. : Вече, 2012. 256 с.

Khozin Vadim Grigorievich
doctor of technical sciences, professor
Email: khozin.vadim@yandex.ru
Khokhryakov Oleg Viktorovich
candidate of technical sciences, associate professor
Email: olvik@list.ru
Kazan State University of Architecture and Engineering
The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1
Kozlov Roman Vladimirovich
head of design and survey department
Email: kozlov-roman@bk.ru
JSC «Tatar Special Scientific and Restoration Department»
The organization address: 420095, Russia, Kazan, Vosstaniya st. 100, b. 209

The environmental rating of «carbonate» cements is low water demand and concrete based on them

Abstract

Problem statement. To evaluate «carbonate» cements of low water demand and concretes based on them according to environmental indicators, calculated by the clinker capacity of binders.

Results. Developed by the authors «carbonate» cements of low water demand with a clinker content of 20 to 70 % surpass standard cements in all technical parameters and can replace them in the production of concrete, while having the lowest «carbon footprint», assessed by the environmental rating proposed by L. Evans and M. Mutter. It is proposed to consider the environmental rating not only for cement, but also for cement concrete and structures made of it, covering their entire life cycle up to the stage of disposal of the dismantled object. The ecological

index $К^{ц}_{CO2}$ of «carbonate» cements of low water demand was calculated and it was shown that in comparison with European cements, also containing limestone additives, it is 2 times lower.

Conclusions. The significance of the results obtained for the construction industry is to substantiate the use of «carbonate» cements of low water demand, as having the lowest content of cement clinker, which meets the most stringent environmental requirements for carbon dioxide emissions into the atmosphere.

Keywords: «carbonate» cements of low water demand, environmental rating, CO_2 emissions, concrete, cement.

For citation: Khozin V. G., Khokhryakov O. V., Kozlov R. V. The environmental rating of «carbonate» cements is low water demand and concrete based on them // Izvestija KGASU. 2021. № 2 (56). P. 60–66. DOI: 10.52409/20731523_2021_2_60.

References

1. Guynn J., Kline J. Maximizing SCM content of blended cements // IEEF – IAS/PCA Cement Industry Conf. IAS/PCACIC Toronto. 2015. P. 1–15.
2. Kline J. Designing a cement plant of the future. Part II // Cement and its application. 2019. №. 1. P. 48–53.
3. Schneider M. The cement industry on the way to a low carbon future innovation and technical trends in cement production // Proc. 8th Jntern VDZ Congr. 2018 (Duesseldort, 26-28 September 2018). Düsseldorf. 2018. P. 55–72.
4. Andrew M.R. Global CO_2 emissions from cement production // Earth Syst. Sci. Data. 2017. URL: https://essd.copernicus.org/articles/10/195/2018 (reference date: 15.02.2021). DOI: 10.5194/essd-10-195-2018.
5. Friedlingstein P. et al. Global Carbon Budget 2020 // Earth Syst. Sci. Data. 2020. Vol. 12, P. 3269-3340. URL: https://essd.copernicus.org/articles/12/3269/2020/? (reference date: 15.02.2021). DOI: 10.5194/essd-12-3269-2020.
6. Evans L., Mutter M. Ecological rating of cement // Cement and its application. 2019. № 4. P. 24–27.
7. Khozin V. G., Khokhryakov O. V., Sibgatullin I. R., Gizzatullin A. R., Kharchenko I. Ya. «Carbonate» cements of low water demand – a green alternative to the cement industry in Russia // Stroitelnye materialy. 2014. № 5. P. 76–82.
8. Khozin V. G., Khokhryakov O. V., Nizamov R. K. Carbonate cements of low water demand – promising binders for cement concretes // Beton i zhelezobeton. 2020. № 1. P. 15–28.
9. Khozin V. G., Khanifov F. M. Strategy of innovative development of concrete construction in the Republic of Tatarstan // BST. 2016. № 12. P. 45–47.
10. Nizamov R. K., Khozin V. G., Nikitin G. P., Khanifov F. M. Saving not cement in concrete, but concrete in structures. Stroyexpertiza. Republic of Tatarstan. 2019. № 5. P. 12–15.
11. Chouksey Sh. Indian cement industry – evolution, growth and future challenges // «ALITинформ». International Analytical Review. 2017. № 1. P. 4–10.
12. Krasinikova N. M., Kirillova E. V., Khozin V. G. Recycling of concrete scrap as raw materials for cement concrete // Stroitel'nye materialy. 2020. № 1-2. P. 56–65.
13. Alexandrova V. D. The modern concept of circular economy // International Journal of Humanities and Natural Sciences. 2019. Vol. 5-1. P. 87–93.
14. Gureva M. A. The theoretical basis of the concept of cir circular economy // Journal of international economic affairs. 2019. № 3. P. 2311–2336. DOI: 10.18334/eo.9.3.40990.
15. Pakhomova N. V., Richter K. K., Vetrova M. A. Transition to a circular economy and closed supply chains as a factor of sustainable development // Bulletin of Saint Petersburg University. Economy. 2017. № 5. P. 244–268. DOI: 10.21638/11701/spbu05.2017.203.
16. Sklyarov A. Yu. Sensational history of the Earth. How old is our planet actually? M. : Veche, 2012. 256 p.

УДК 69.055.4
Шаехов Алмаз Фритович
конструктор
Email: shaehov1711@mail.ru
ТГАТ им. Г. Камала
Адрес организации: 420021, Россия, г. Казань, ул. Татарстан, д. 1
Коклюгина Людмила Алексеевна
кандидат технических наук, доцент
Email: the-lusy@mail.ru
Ибрагимов Руслан Абдирашитович
кандидат технических наук, доцент
Email: rusmag007@yandex.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет
Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1

Исследование влияния воздушных потоков на безопасность проведения грузоподъемных операций башенным краном

Аннотация

Постановка задачи. В настоящее время не учитывается влияние ветрового воздействия на монтируемые конструкции. Особенно опасна пульсационная составляющая ветровой нагрузки. Цель данного исследования – совершенствование методов определения опасной зоны работы башенного крана вблизи строящихся объектов в зависимости от силы ветра и высоты монтажного горизонта.

Результаты. Основные результаты исследования состоят в определении влияния скорости ветра и его пульсационной составляющей на изменение опасной зоны башенного крана в зависимости от высоты его работы. В качестве монтируемых грузов приняты основные конструкции, используемые на строительной площадке: опалубка, панели, плиты перекрытия. Воздействие ветра оказывает значительное влияние на увеличение опасной зоны работы крана. Данное воздействие увеличивается с увеличением парусности. Получен коэффициент в дополнение к нормативным требованиям по определению опасной зоны работы башенного крана. Рассмотрены основные виды используемых грузов на строительной площадке с высокими показателями парусности и определены расчетным путем их возможные отклонения при проведении строительно-монтажных работ.

Выводы. Значимость полученных результатов для строительной отрасли состоит в том, что, с целью снижения ветрового давления необходимо предусматривать мероприятия по уменьшению сопротивления поверхности груза и предотвращение его раскачивания.

Ключевые слова: стройплощадка, опасная зона, ветровые нагрузки, парусность.

Для цитирования: Шаехов А. Ф., Коклюгина Л. А., Ибрагимов Р. А. Исследование влияния воздушных потоков на безопасность проведения грузоподъемных операций башенным краном // Известия КГАСУ. 2021. № 2 (56). С. 67–75. DOI: 10.52409/20731523_2021_2_67.

1. Введение

Районы крупных городов ограничены наличием свободных площадок под строительство, поэтому возведение многоэтажных зданий в условиях плотной городской застройки является распространенным явлением. Строительная площадка в условиях стесненности – это территория повышенной опасности, поэтому необходимо соблюдать все требования техники безопасности [1]. При организации рабочего места на стройплощадке необходимо установить и обозначить опасные зоны [2]. Под опасной зоной понимается пространство, в котором периодически или постоянно возникают факторы, создающие угрозу жизни и здоровью работающих и имуществу организации [3]. Следовательно, правильное определение опасных зон, в частности опасной зоны работы крана, а также учет непредвиденных обстоятельств – являются важной частью безопасного производства строительно-монтажных работ.

Установлено, что кратковременное действие ветра может дополнительно увеличить опасную зону. Мощный воздушный поток вполне способен напрямую повлиять на расчет определения опасной зоны башенного крана [4].

Известно, что граница опасных зон в местах, над которыми происходит перемещение грузов башенными кранами, принимается от крайней точки горизонтальной проекции наружного наименьшего габарита перемещаемого груза или стены здания с прибавлением наибольшего габаритного размера перемещаемого (падающего) груза и минимального расстояния отлета груза при его падении (СП 49.13330.2010 приложение Г) согласно табл. 1 и графику определения минимального расстояния отлета груза при его падении:

$$R_{\text{оп}} = R_{\text{раб}}^{max} + L^{max} + \frac{B}{2} + r, \quad (1)$$

где $R_{\text{раб}}^{max}$ – максимальный рабочий вылет стрелы крана;
L^{max} – наибольший габарит монтируемой конструкции;
B – наименьший габарит монтируемой конструкции;
r – радиус рассеивания груза при его падении с крана.

В работе [5] автор определял влияние ветровой нагрузки на поднимаемый груз в процессе работы легких кранов и струнных подъемников. Учитывая, что у всех легких кранов вылет крюка (у струнных подъёмников – консоли) за пределы здания колеблется от 0,6 до 1 м, указанное исследование строилось вокруг того, что груз, отклоняясь от вертикали, не должен задевать или биться о строящееся здание.

В работах [6-7] отмечается, что ветер повышает риск задержки высотного строительства. Также выявлено, что ветер может увеличивать рабочий радиус крана, при этом увеличивается расстояние от центра крана и, следовательно, увеличивается опрокидывающий момент, что приводит к неустойчивости башенного крана [8].

Возникновение опасных динамических ветровых нагрузок не только существует, что подтверждается многолетними наблюдениями, но и имеет тенденцию к их росту [9-10].

Необходимо учитывать воздействие ветровых давлений, а также пульсационную составляющую ветра [11].

Цель данной работы – определение габарита опасной зоны работы крана при проведении строительно-монтажных работ в зависимости от скорости ветра.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- ввести поправочный коэффициент, учитывающий силу ветра в зависимости от высоты подъема груза;
- рассчитать отклонение поднимаемых грузов в зависимости от их парусности и пульсации ветра.

2. Материалы и методы

Действие ветра на поднимаемый груз проявляется в виде нагрузки, величина которой зависит от скорости ветра [12]. В зависимости от силы и интенсивности ветра, площади ветровой нагрузки (парусности) и направления ветра радиус опасной зоны увеличится [13-15]. Из рис. 1 видно, что радиус опасной зоны увеличивается на значение l.

Введем значение l в формулу определения опасной зоны для грузов с высокой парусностью:

$$R_{\text{оп}} = R_{\text{раб}}^{max} + L^{max} + \frac{B}{2} + r + l, \quad (2)$$

где l – увеличение опасной зоны за счет ветрового давления.

Для наглядности сравним основные материалы и элементы, используемые при строительстве (табл. 1).

Анализируя табл. 1, можно сделать вывод, что некоторые элементы имеют большую площадь и малый вес, а другие, наоборот, большой вес и малую площадь. Необходимо сравнить их отклонения в одинаковых условиях. Для этого составим таблицу, где сравним исследуемые грузы, насколько они отклоняются по вертикали при разных скоростях ветра. При этом все элементы будут иметь нижнюю отметку на одном уровне, то есть общее расстояние от самой нижней точки груза до тележки крана будет одинаковым. Скорости ветра примем 1-10 м/с.

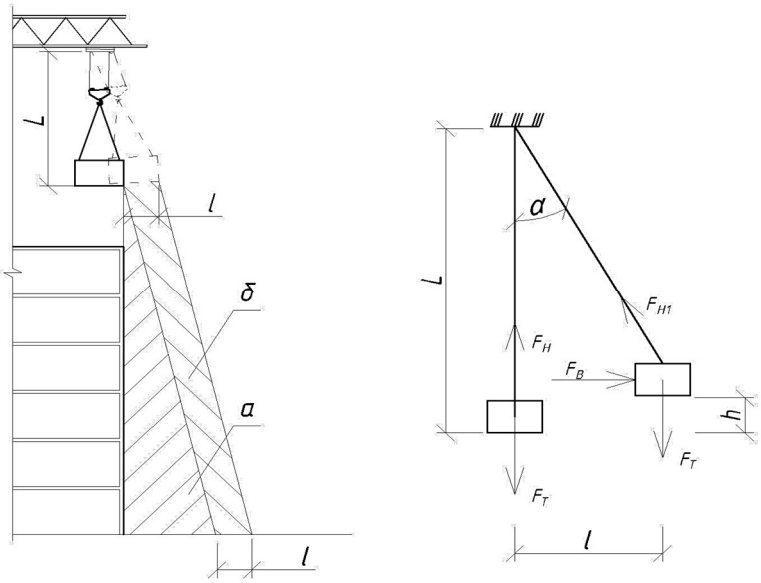


Рис. 1. Воздействие ветровой нагрузки на поднимаемый груз: а – опасная зона возможного падения груза с крана; б – увеличение опасной зоны (иллюстрация авторов)

Таблица 1

Основные типы грузов

Наименование	Площадь наветренной стороны, м^2	Масса, кг	Коэффициент воздушного сопротивления, *c*
Опалубка MAXIMOMX (3300×2400 мм)	7,92	408	1,5
Алюминиевая опалубка (1200×3000 мм)	3,6	110	1,5
Стеновая панель В1.3-65.27-12-1	17,28	5150	1,5
Плита перекрытия ПК 30-12-8	0,66	1080	1,5
Бадья Zitrek БН-2.0 021-1067	3,41	330	1

Разберем пример: пусть выполняется подъем груза башенным краном Giraffe ТДК-8.180. Для всех грузов размерность L (расстояние от каретки до низа груза) примем 10,3 м.

Известно, что подвешенный груз, будучи в состоянии покоя, находится в вертикальном положении. Под действием горизонтальной силы F_B (в данном случае это полная ветровая нагрузка) груз отклоняется (переместится) от первоначального вертикального положения на некоторый угол α. Определим величину отклонения. На подвешенное тело действуют силы собственного веса и сила натяжения нити, при этом $F_T = F_H$. Допустим, что на груз начинает действовать воздушный поток силой F_B и под его воздействием тело начинает отклонятся и перемещаться на расстояние l (рис. 1б).

Отклонения перемещаемого груза. Тангенс угла отклонения зависит от отношения силы ветрового давления к силе тяжести, тогда:

$$tg\alpha = \frac{F_{\text{В}}}{F_{\text{Т}}} = \frac{S_w \cdot p}{mg}, \quad (3)$$

где p – скоростной напор воздуха.

Отклонение по горизонтали под действием силы F_B, игнорируя изменение по высоте h так как оно будет незначительным, можно определить по формуле:

$$l = L \times tg\alpha, \quad (4)$$

После определенных вычислений получим зависимость расстояния отклонения от физических характеристик груза и от воздушного потока:

$$l = \frac{L \times S_w \times v^2 \times \frac{\rho}{2}}{mg}. \quad (5)$$

Отсюда следует, что груз, отклонившись, увеличивает опасную зону башенного крана.

Определяем, каким образом влияют характеристики материала и показатели воздушных потоков. В итоге получается, что в формуле по СП 49.13330.2010 определения опасной зоны появляется дополнительно новый элемент:

$$R_{\text{оп}} = R_{\text{раб}}^{max} + L^{max} + \frac{B}{2} + r + \frac{L * S_w * v^2 * \frac{\rho}{2}}{mg}, \quad (6)$$

где L – расстояние от низа груза до грузовой тележки; S_w – парусность поднимаемого груза; v – скорость ветра; ρ – плотность воздуха, равная 1,25 кг/м^3; m – масса поднимаемого груза; g – ускорение свободного падение, равная 9,81 м/с^2.

Учет порыва ветра. Кратковременное действие ветра может дополнительно увеличить опасную зону. Но из-за малого времени действия, порой 20-30 сек., отклонение груза и увеличение опасной зоны необходимо учитывать, как маловероятное явление. Расчет на порыв ветра следует рассматривать как рекомендательный. Учитывая коэффициент увеличения по высоте, скорость порыва ветра на монтажной высоте может намного увеличиться. Расчеты изменения скорости порыва с высотой приведены в табл. 2.

Таблица 2

Изменение скорости порыва ветра с высотой

Рабочая высота, м	Коэффициент для определения скорости на высоте	Изменение порыва ветра, м/с
10	1,000	13,1
20	1,073	14,0
30	1,119	14,6
40	1,153	15,1
50	1,181	15,4
60	1,204	15,7
70	1,224	16,0
80	1,241	16,2
90	1,257	16,4
100	1,272	16,6
110	1,285	16,8
120	1,297	16,9
130	1,309	17,1
140	1,319	17,2
150	1,329	17,4
160	1,339	17,5
170	1,348	17,6
180	1,356	17,7
190	1,364	17,8
200	1,372	17,9

3. Результаты

Проведено сравнение основных грузов, используя данные табл. 1, формулы (5) составлена табл. 3, используя формулу (4). Определен для каждого типа груза свое отклонение l при разных скоростях ветра и одинаковых условиях.

Из табл. 3 видно, что наибольшее отклонение от вертикали возникает при подъеме алюминиевой щитовой опалубки, что на 41,4 % больше, чем при подъеме щитовой опалубки MAXIMOMX 15. Наименьшее отклонение от вертикали имеет плита перекрытия. Так, при скорости ветра 10 м/с, отклонение плиты составляет 0,06 м.

Можно сделать вывод, что величина отклонения элементов напрямую зависит в основном от скорости ветра и характеристик поднимаемых грузов, сюда можно отнести вес, наветренную площадь и положение, в котором происходит перемещение. Изменение таких параметров, как длина от низа до крюка и площади поднимаемого элемента, также увеличение коэффициента воздушного сопротивления тела, ведет к прямо пропорциональному увеличению отклонения по вертикали. А при увеличении скорости ветра – к увеличению в квадрате [16-18].

Таблица 3

Результаты расчета отклонения грузов

Скорость ветра, м/с	Опалубка MAXIMO MX 3300×2400 мм	Алюминиевая опалубка 1200×3000 мм	Стеновая панель В1.3-65.27-12-1	Плита перекрытия ПК 30-12-8	Бадья Zitrek БН-2.0 021-1067
1	0,02	0,03	0,00	0,00	0,01
2	0,08	0,13	0,01	0,00	0,03
3	0,17 58,6 %	0,29 100 %	0,03 10,3 %	0,01 1,9 %	0,06 21,1 %
4	0,31 58,6 %	0,52 100 %	0,05 10,3 %	0,01 1,9 %	0,11 21,1 %
5	0,48 58,6 %	0,81 100 %	0,08 10,3 %	0,02 1,9 %	0,17 21,1 %
6	0,69 58,6 %	1,16 100 %	0,12 10,3 %	0,02 1,9 %	0,24 21,1 %
7	0,94 58,6 %	1,58 100 %	0,16 10,3 %	0,03 1,9 %	0,33 21,1 %
8	1,22 58,6 %	2,06 100 %	0,21 10,3 %	0,04 1,9 %	0,43 21,1 %
9	1,55 58,6 %	2,61 100 %	0,27 10,3 %	0,05 1,9 %	0,55 21,1 %
10	1,91 58,6 %	3,22 100 %	0,33 10,3 %	0,06 1,9 %	0,68 21,1 %

Следовательно, необходимо уделять особое внимание скорости воздушного потока на строительной площадке во время производства с парусными и крупногабаритными грузами.

На основе вышеприведенных формул (5), (6) составлена табл. 4, в которой учитываются динамические воздействия, возникающие при работе башенного крана, и давление порыва ветра. Рассмотрены наиболее подверженные отклонению груза – крупнощитовые опалубки. Расчеты определены с учетом того, что максимальный рабочий вылет составляет 30 м.

Таблица 4

Результаты расчета отклонения (м)

Рабочая высота, м	Скорость порыва ветра, м/с	Опалубка MAXIMO MX 3300×2400 мм	Алюминиевая опалубка 1200×3000 мм
10	13,1	3,23 59,3 %	5,53 100 %
20	14,0	3,75 59,3 %	6,31 100 %
40	15,1	4,36 59,3 %	7,35 100 %
60	15,7	4,71 59,3 %	7,94 100 %
80	16,2	5,01 59,3 %	8,45 100 %
100	16,6	5,27 59,3 %	8,88 100 %
120	16,9	5,46 59,3 %	9,20 100 %
140	17,2	5,65 59,3 %	9,53 100 %
160	17,5	5,85 59,3 %	9,87 100 %
180	17,7	5,99 59,3 %	10,09 100 %
200	17,9	6,12 59,3 %	10,32 100 %

По результатам расчета видно, что отклонения от пульсационного воздействия ветра намного больше, чем при обычном (стационарном) воздушном потоке. Необходимо такое явление предусматривать заранее и предупреждать возможные последствия при падении груза с крюка крана.

4. Обсуждение

Исследование показало, что порывы ветра усиливаются в зависимости от района строительства, например, если процесс строительства проходит внутри или рядом с плотно застроенной территорией города, то существующие здания разрушают гладкий поток, который ветер достиг бы на открытой местности, и создаются турбулентные потоки. Именно эти потоки могут негативно сказаться на подвешенный груз на крюке и привести к увеличению рабочего радиуса башенного крана. А увеличение рабочего радиуса влечет за собой и увеличение опасной зоны башенного крана. Поэтому необходимо уделять особое внимание этому фактору при размещении башенного крана на строительной площадке, планировании подъема и перемещения грузов с высоким значением парусности.

Величина отклонения в основном зависит от параметров груза, и это необходимо учитывать при расчете опасной зоны в целях повышения безопасности выполнения строительно-монтажных работ. Получены зависимости, рекомендуемые для определения увеличения опасной зоны работы башенного крана, от скорости ветра. Также рассмотрены основные используемые грузы с высокими показателями парусности и определены теоретическим путем их возможные отклонения при проведении строительно-монтажных работ. Рассмотрено такое явление как порыв ветра и рассчитаны возможные отклонения при его воздействии на подвешенный груз.

Ветровая нагрузка является опасным фактором, который необходимо учитывать, как фактор влияния на увеличение радиуса работы крана и, в первую очередь, опасной зоны. Очень важно принимать во внимание скорость ветра на этапе проектирования строительного генерального плана.

5. Заключение

1. Воздействие ветра оказывает значительное влияние на увеличение опасной зоны работы крана. Данное воздействие увеличивается с увеличением парусности. С целью снижения ветрового давления необходимо предусматривать мероприятия по уменьшению сопротивления поверхности груза и предотвращение его раскачивания.

2. Получен коэффициент ($\frac{L \times S_w \times v^2 \times \frac{\rho}{2}}{mg}$) в дополнение к нормативным требованиям по определению опасной зоны работы башенного крана. Рассмотрены основные виды используемых грузов на строительной площадке с высокими показателями парусности и определены расчетным путем их возможные отклонения при проведении строительно-монтажных работ.

Список библиографических ссылок

1. Shakhiev A. D., Evlakhova E. Yu. Features of the placement and operation of tower cranes during the construction of multi-storey buildings in dense urban areas, in Science and innovation – modern concepts. Collection of scientific articles on the results of the work of the International Scientific Forum, Moscow, 2019. P. 19–28
2. Sadeghi S., Soltanmohammadlou N., Rahnamayiezekavat P. A systematic review of scholarly works add ressing crane safety requirements // Safety Science. 2021. № 133. P. 105002. DOI: 10.1016/j.ssci.2020.105002.
3. Tzu-Sung Wu. Anti-sway tracking control of tower cranes with delayed uncertainty using a robust adaptive fuzzy control // Fuzzy Sets and Systems. № 290. 2016. P. 118–137. DOI: 10.1016/j.fss.2015.01.010.
4. Zhou W., Zhao T., Liu W., Tang J. Tower crane safety on construction sites: A complex sociotechnical system perspective // Safety Science. 2018. № 109. P. 95–108. DOI: 10.1016/j.ssci.2018.05.001.

5. Чанышев Р. О. Подъемники и легкие краны в строительстве. М. : Стройиздат, 1975. 288 с.
6. Skelton I., Demian P., Glass J., Bouchlaghem D., Anumba C. Lifting Wing in Constructing Tall Buildings – Aerodynamic Testing. Buildings. 2014. № 4 (2). P. 245–265. DOI: 10.3390/buildings4020245.
7. Raviv G., Shapira A., Fishbain B. AHP-based analysis of the risk potential of safety incidents: Case study of cranes in the construction industry. Safety Science. 2017. № 91. P. 298–309. DOI: 10.1016/j.ssci.2016.08.027.
8. Paul Swuste. A «normal accident» with a tower crane? An accident analysis conducted by the Dutch Safety Board // Safety Science. № 57. 2013. P. 276–282
9. Das S., Dhalmahapatra K., Maiti J. Z-number integrated weighted VIKOR technique for hazard prioritization and its application in virtual prototype based EOT crane operations // Applied Soft Computing Journal. 2020. № 94. P. 106419. DOI: 10.1016/j.asoc.2020.106419.
10. Lesovik V., Voronov V., Glagolev E., Fediuk R., Alaskhanov A., Amran Y. H. M., Murali G., Baranov A. Improving the behaviors of foam concrete through the use of composite binder // Journal of Building Engineering. 2020. № 31. P. 101414. DOI: 10.1016/j.jobe.2020.101414.
11. Зорина М. А. Особенности проектирования стройгенпланов в условиях плотной городской застройки : сб. статей «традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Строительство». Самара, 2015. С. 217–413.
12. Xiaodong L., Wanshui H., Yangguang Y., Xiao Ch., Qing X. Corrosion fatigue assessment and reliability analysis of short suspender of suspension bridge depending on refined traffic and wind load condition // Engineering Structures. № 234. 2021. P. 111950. DOI: 10.1016/j.engstruct.2021.111950.
13. Zhonghui W., Yumi I., Yasushi U. The flow fields generated by stationary and travelling downbursts and resultant wind load effects on transmission line structural system // Journal of Wind Engineering & Industrial Aerodynamics. № 210. 2021. P. 104521. DOI: 10.1016/j.jweia.2021.104521.
14. Zhengru R., Amrit Sh., Behfar A., Karl H., Hans P. Model-free anti-swing control of complex-shaped payload with offshore floating cranes and a large number of lift wires. Ocean Engineering. № 228. 2021. P. 108868. DOI: 10.1016/j.oceaneng.2021.108868.
15. Bogdanov R., Mavlyuberdinov A. Development of the composition of the self-compacting concrete with high performance // IOP conference series: Materials Science and Engineering. 2020. № 890. P. 012132.
16. Ruwan Rajapakse. Chapter 5: Construction Equipment. Construction Engineering Design Calculations and Rules of Thumb. 2016. P. 99–137.
17. Jiahui Ye, Jie Huang. Analytical analysis and oscillation control of payload twisting dynamics in a tower crane carrying a slender payload // Mechanical Systems and Signal Processing. 2021. № 158. P. 107763. DOI: 10.1016/j.ymssp.2021.107763.
18. Khuziakhmetov R., Nurieva D. Determination of the main technical reasons for the fall of pile driving machine near the slope of the foundation pit // IOP conference series: Materials Science and Engineering. 2020. № 890. P. 012136.

Shaehov Almaz Fritovich
constructor
Email: shaehov1711@mail.ru
TGAT them. G. Kamala
The organization address: 420021, Russia, Kazan, Tatarstan st., 1
Koklyugina Lyudmila Alekseevna
candidate of technical sciences, associate professor
Email: the-lusy@mail.ru
Ibragimov Ruslan Abdirashitovich
candidate of technical sciences, associate professor
Email: rusmag007@yandex.ru
Kazan State University of Architecture and Engineering
The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

Study of the influence of air flows on the safety of carrying out lifting operations by a tower crane

Abstract

Problem statement. At present, the effect of wind action on the structures being mounted is not taken into account. The pulsating component of the wind load is especially dangerous. The purpose of this study is to improve the methods for determining the dangerous zone of the tower crane operation near the facilities under construction, depending on the wind strength and the height of the mounting horizon.

Results. The main results of the study are to determine the effect of wind speed, the pulsating component of the wind on the change in the danger zone of a tower crane, depending on the height of its work. The main structures used at the construction site are taken as the mounted loads: formwork, panels, floor slabs.

Conclusions. The impact of the wind has a significant effect on the increase in the hazardous area of the crane operation. This impact increases with increasing windage. In order to reduce wind pressure, it is necessary to provide for measures to reduce the resistance of the surface of the load and prevent it from swinging. The coefficient was obtained in addition to the regulatory requirements for determining the hazardous area of the tower crane operation. The main types of cargo used at the construction site with high windage parameters are considered and their possible deviations during construction and installation work are determined by calculation.

Keywords: construction site, danger zone, wind loads, windage.

For citation: Shaehov A. F., Koklyugina L. A., Ibragimov R. A. Study of the influence of air flows on the safety of carrying out lifting operations by a tower crane // Izvestija KGASU. 2021. № 2 (56). P. 67–75. DOI: 10.52409/20731523_2021_2_67.

References

1. Shakhiev A. D., Evlakhova E. Yu. Features of the placement and operation of tower cranes during the construction of multi-storey buildings in dense urban areas, in Science and innovation – modern concepts. Collection of scientific articles on the results of the work of the International Scientific Forum, Moscow, 2019. P. 19–28
2. Sadeghi S., Soltanmohammadlou N., Rahnamayiezekavat P. A systematic review of scholarly works add ressing crane safety requirements // SafetyScience. 2021. № 133. P. 105002. DOI: 10.1016/j.ssci.2020.105002.
3. Tzu-Sung Wu. Anti-sway tracking control of tower cranes with delayed uncertainty using a robust adaptive fuzzy control // Fuzzy Sets and Systems. 2016. № 290. P. 118–137. DOI: 10.1016/j.fss.2015.01.010.
4. Zhou W., Zhao T., Liu W., Tang J. Tower crane safety on construction sites: A complex sociotechnical system perspective // Safety Science. 2018. № 109. P. 95–108. DOI: 10.1016/j.ssci.2018.05.001.
5. Chanyshev R. O. Hoists and lightweight cranes in construction. M. : Stroyizdat, 1975. 288 p.
6. Skelton I., Demian P., Glass J., Bouchlaghem D., Anumba C. Lifting Wing in Constructing Tall Buildings – Aerodynamic Testing // Buildings. 2014. № 4 (2). P. 245–265. DOI: 10.3390/buildings4020245.
7. Raviv G., Shapira A., Fishbain B. AHP-based analysis of the risk potential of safety incidents: Case study of cranes in the construction industry. Safety Science. 2017. № 91. P. 298–309. DOI: 10.1016/j.ssci.2016.08.027.
8. Paul Swuste. A «normal accident» with a tower crane? An accident analysis conducted by the Dutch Safety Board // Safety Science. 2013. № 57. P. 276–282
9. Das, S., Dhalmahapatra, K., Maiti, J. Z-number integrated weighted VIKOR technique for hazard prioritization and its application in virtual prototype based EOT crane

operations // Applied Soft Computing Journal. 2020. № 94. P. 106419. DOI: 10.1016/j.asoc.2020.106419.
10. Lesovik V., Voronov V., Glagolev E., Fediuk R., Alaskhanov A., Amran Y. H. M., Murali G., Baranov A. Improving the behaviors of foam concrete through the use of composite binder // Journal of Building Engineering. 2020. № 31. P. 101414. DOI: 10.1016/j.jobe.2020.101414.
11. Zorina M. A. Features of the design of construction plans in a dense urban development. Collection of articles «traditions and innovations in construction and architecture. Building». Samara. 2015. P. 2017–413.
12. Xiaodong L., Wanshui H., Yangguang Y., Xiao Ch., Qing X. Corrosion fatigue assessment and reliability analysis of short suspender of suspension bridge depending on refined traffic and wind load condition // Engineering Structures. 2021. № 234. P. 111950. DOI: 10.1016/j.engstruct.2021.111950.
13. Zhonghui W., Yumi I., Yasushi U. The flow fields generated by stationary and travelling downbursts and resultant wind load effects on transmission line structural system // Journal of Wind Engineering & Industrial Aerodynamics. 2021. № 210. P. 104521. DOI: 10.1016/j.jweia.2021.104521.
14. Zhengru R., Amrit Sh., Behfar A., Karl H., Hans P. Model-free anti-swing control of complex-shaped payload with offshore floating cranes and a large number of lift wires. Ocean Engineering. 2021. № 228. P. 108868. DOI: 10.1016/j.oceaneng.2021.108868.
15. Bogdanov R., Mavlyuberdinov A. Development of the composition of the self-compacting concrete with high performance // IOP conference series: Materials Science and Engineering. 2020. № 890. P. 012132.
16. Ruwan Rajapakse. Chapter 5: Construction Equipment. Construction Engineering Design Calculations and Rules of Thumb. 2016. P. 99–137
17. Jiahui Ye, Jie Huang. Analytical analysis and oscillation control of payload twisting dynamics in a tower crane carrying a slender payload // Mechanical Systems and Signal Processing. 2021. № 158. P. 107763. DOI: 10.1016/j.ymssp.2021.107763.
18. Khuziakhmetov R., Nurieva D. Determination of the main technical reasons for the fall of pile driving machine near the slope of the foundation pit // IOP conference series: Materials Science and Engineering. 2020. № 890. P. 012136.

УДК 628.3
Бусарев Андрей Валерьевич
кандидат технических наук, доцент
Email: reder100@rambler.ru
Селюгин Александр Сергеевич
кандидат технических наук, доцент
E-mail: a.selyugin@inbox.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет
Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1
Лисенков Руслан Альбертович
инженер производственно-технического отдела
Email: kpojluk35@gmail.com
Муниципальное унитарное предприятие «Водоканал» г. Казани
Адрес организации: 420087, Россия, г. Казань, ул. Родины, д. 9

Очистка нефтесодержащих сточных вод предприятий железнодорожного транспорта методом напорной флотации

Аннотация

Постановка задачи. На многих промышленных предприятиях образуются нефтесодержащие сточные воды, загрязненные нефтепродуктами и твердыми взвешенными веществами. Одним из методов очистки нефтесодержащих сточных вод является напорная флотация.

Целью работы является исследование эффективности очистки производственных стоков предприятий железнодорожного транспорта методом напорной флотации.

Задачи исследования:

- изучение очистки нефтесодержащих сточных вод при добавлении реагентов;
- изучение очистки нефтесодержащих сточных вод при увеличении давления в сатураторе;
- изучение очистки нефтесодержащих сточных вод при изменении времени пребывания жидкости в сатураторе.

Результаты. Основные результаты исследований состоят в определении эффективности очистки нефтесодержащих сточных вод с использованием напорной флотации. Проведенные на экспериментальной установке исследования показали достаточно высокую эффективность применения флотаторов с горизонтальным движением жидкости для очистки нефтесодержащих сточных вод.

Выводы. Значимость полученных результатов для строительной отрасли состоит в возможности использования разработанной технологии очистки нефтесодержащих сточных вод с использованием напорной флотации на предприятиях по ремонту подвижного состава железнодорожного транспорта.

Ключевые слова: нефтесодержащие сточные воды, загрязнение нефтепродуктами, очистка, напорная флотация, экспериментальная установка, исследования.

Для цитирования: Бусарев А. В., Селюгин А. С., Лисенков Р. А. Очистка нефтесодержащих сточных вод предприятий железнодорожного транспорта методом напорной флотации // Известия КГАСУ. 2021. № 2 (56). С. 76–83. DOI: 10.52409/20731523_2021_2_76.

1. Введение

На многих производственных объектах формируются нефтесодержащие сточные воды (НСВ), в которых имеются нефть и твердая взвесь. НСВ обычно после локальной очистки направляются в системы оборотного водопользования производственных предприятий. Это не только решает экологические проблемы, но и сокращает забор воды производственными объектами из поверхностных источников или водопроводных систем [1]. Значительное количество НСВ возникает на нефтяных месторождениях при обработке сырой нефти. НСВ, формирующиеся при нефтеподготовке, содержат нефть, взвесь, а также

значительное количество солей. После очистки они закачиваются в нагнетательные скважины для увеличения коэффициента нефтеотдачи нефтепромыслов [2, 3].

НСВ возникают в котельных производственных объектов, работающих на мазуте, при охлаждении различных агрегатов, при выпадении атмосферных осадков [4]. На транспорте также формируется значительное количество НСВ: в автохозяйствах образуются стоки от мойки автомобилей. На речных и морских судах формируются льяльные воды, загрязненные нефтепродуктами и взвешенными веществами [5].

На железных дорогах в депо формируются нефтесодержащие стоки. Казанским государственным архитектурно-строительным университетом (КГАСУ) в локомотивном депо «Юдино» Горьковской железной дороги было установлено, что концентрация нефтепродуктов в производственных сточных водах составляет 1,5-3 г/л, а взвеси достигает 0,2-2 г/л. Расход производственных стоков в ремонтных депо не превышает 3-10 м^3 на 1 т обработанных деталей [6].

Для обработки НСВ, образующихся на предприятиях железнодорожного транспорта, применяются механические, физико-химические и биологические методы очистки [1, 6]. К механическим методам относится воздействие сил гравитации, а также центробежное воздействие. Доочистка нефтесодержащих стоков производится фильтрованием в аппаратах различных конструкций [7-10]. Процеживанием в решетках из нефтесодержащих сточных вод удаляются крупные плавающие отбросы. Методом отстаивания из нефтесодержащих стоков извлекаются загрязнения в песколовках, отстойниках (в т. ч. в полочных), а также в нефтеловушках горизонтальных и многоярусных с полочными блоками [1, 6, 7]. В центробежном поле нефтесодержащие сточные воды обрабатываются в центрифугах, открытых и напорных гидроциклонах [11-14]. Работа отстойников может быть интенсифицирована установкой в них коалесцирующих насадок [15]. Физико-химическая очистка НСВ включает коагуляцию, сорбцию, флотацию, а также ультрафильтрацию. Биологическая очистка НСВ осуществляется в мембранных биореакторах, а их глубокая очистка от нефтепродуктов – в биологических прудах [1].

В КГАСУ создан аппарат для очистки производственных нефтесодержащих стоков, образующихся в железнодорожных ремонтных депо. Он изображен на рис. 1.

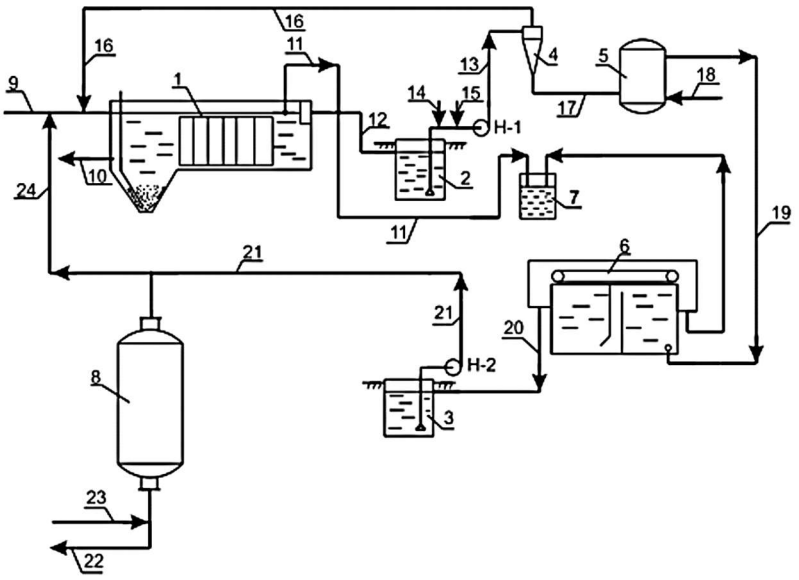


Рис. 1. Технология обработки НСВ предприятий железнодорожного транспорта:
1 – полочная нефтеловушка; 2, 3 – резервуары; 4 – гидроциклонный аппарат;
5 – напорная емкость; 6 – флотатор; 7 – резервуар для нефти; 8 – скорый фильтр
(иллюстрация авторов)

Данная установка включает тонкослойную нефтеловушку 1, промежуточные резервуары 2 и 3, гидроциклонную установку 4, сатураторы 5, флотаторы 6, резервуар для уловленных нефтепродуктов 7, скорые напорные фильтры 8 с двухслойной зернистой

загрузкой, соединительные линии, насосы, а также задвижки и клапаны. НСВ подаются на обработку в нефтеловушку 1 по линии 9. Осадок, образующийся в нефтеловушке, удаляется под гидростатическим давлением по трубопроводу 10. Нефтепродукты, всплывшие в нефтеловушке, попадают по линии 11 в резервуар 7. НСВ по линии 12 самотеком поступают в резервуар 2, из которой насосом Н-1 по линии 13 подаются в аппарат 4. По линии 14 на всас насоса Н-1 подается коагулянт $Al_2(SO4)_3$, а по линии 15 подается раствор полиакриламида.

Аппарат 4 состоит из нескольких элементарных гидроциклонов, разработанных в КГАСУ. В гидроциклонах возникает центробежное поле, ввиду тангенциального ввода жидкости в их корпуса. Нефтепродукты собираются в центральной части корпуса и выносятся восходящим потоком через верхние сливные отверстия. Верхний слив гидроциклонов под избыточным давлением по линии 16 поступает в нефтеловушку 1. Очищенная вода из гидроциклонов под избыточным давлением по линии 17 поступает в напорную емкость 5, куда по воздуховоду 18 компрессором подается воздух. Давление в емкости 5 достигает 3-5 кгс/см^2. Водовоздушная смесь по трубопроводу 19 поступает во флотаторы с горизонтальным движением жидкости. Во флотаторе 6 имеется два отделения: флотокамера и секция отстаивания [8]. Очищенная вода из флотатора по трубопроводу 20 отводится в емкость 3, из которой насосом Н-2 по трубопроводу 21 подается на доочистку в фильтры 8. Очищенная вода отводится из установки по трубопроводу 22. Для регенерации загрузки фильтров 6 в них по трубопроводу 23 подается вода на промывку. Загрязненная промывная вода по трубопроводу 24 отводится в нефтеловушку 1.

В данной установке концентрация нефти в НСВ уменьшается с 1500-3000 мг/л до 5-10 мг/л, а взвешенных веществ – с 200-500 мг/л до 5-10 мг/л.

Доочистка НСВ от нефтепродуктов происходит в напорных адсорбционных фильтрах с загрузкой из активированных древесных углей или в мембранной ультрафильтрационной установке.

Целью работы является исследование эффективности очистки производственных стоков предприятий железнодорожного транспорта методом напорной флотации. Задачи исследования: 1) изучение очистки нефтесодержащих сточных вод при добавлении реагентов; 2) изучение очистки нефтесодержащих сточных вод при увеличении давления в сатураторе; 3) изучение очистки нефтесодержащих сточных вод при изменении времени пребывания жидкости в сатураторе.

2. Материалы и методы

В КГАСУ исследовались процессы обработки НСВ, образующихся в железнодорожных депо, в напорном флотаторе с горизонтальным движением жидкости. Для этих целей использовалась экспериментальная установка, схема которой приведена на рис. 2. В состав данной установки входят: резервуар для исходной воды 1, напорная емкость 2, флотатор 3, трубопроводы, насосы, запорная арматура и система контрольно-измерительных приборов.

Водопроводная вода по линии 4 поступает в резервуар 1, из которого исходная жидкость насосом по линии 5 подается в напорную емкость 2, в которую по воздуховоду 6 подается сжатый воздух. Смесь воды и воздуха по линии 7 поступает в установку 3. Очищенная НСВ отводится в канализацию по трубопроводу 8. Всплывшие нефтепродукты удаляются из флотатора 3 по трубопроводу 9. На трубопроводе 5 установлен расходомер Р-1 и манометр М-1, по которому определяется давление в сатураторе 2.

Исходная вода отбирается из пробоотборника ПР-1, установленного на трубопроводе 7. Очищенная вода отбирается из пробоотборника ПР-2, которым оборудован трубопровод 8. По линии 10 на всас насоса Н-1 подаются стоки, загрязненные взвесью и нефтепродуктами. По линии 11 на всас насоса Н-1 подается раствор $Al_2(SO_4)_3$, а по линии 12 – раствор ПАА.

Время пребывания жидкости во флотационной и отстойной камерах флотатора 3 составляет 0,33 ч.

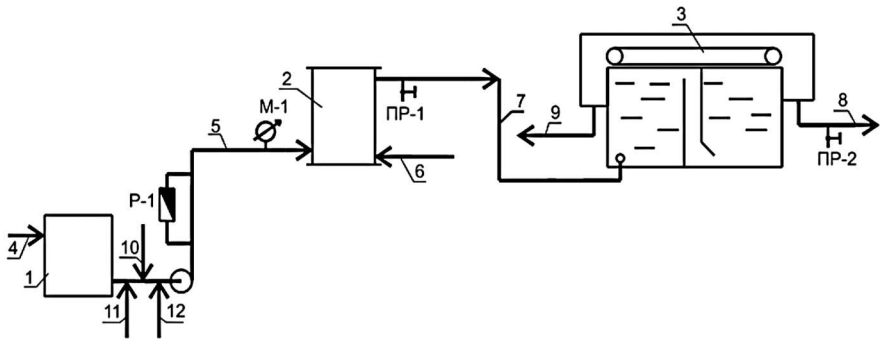


Рис. 2. Установка очистки в напорных флотаторах:
1 – резервуар для исходной воды; 2 – напорная емкость; 3 – флотатор (иллюстрация авторов)

Температура НСВ измерялась спиртовым термометром с ценой деления 0,1 ^{0}С. Концентрация взвеси в воде определялась объемным методом. Для определения содержания нефтепродуктов в воде использовался фотокалориметрический метод.

Эффект очистки НСВ от нефтепродуктов $Э_н$, %, определялся по формуле:

$$Э_н = \frac{С_н^{исх} - С_н^{оч}}{С_н^{исх}} \cdot 100, \quad (1)$$

где $C_н^{исх}$– концентрация нефти в НСВ, поступающих на очистку, мг/л; $C_н^{оч}$ – содержание нефтепродуктов в очищенной воде, мг/л.

3. Результаты и обсуждение

Опытные данные, полученные в КГАСУ, представлены в табл.

Таблица

Результаты исследований

№ п/п	Реагенты	Температура стоков, ^{0}С	Давление в сатураторе, МПа	Концентрация взвешенных веществ, мг/л		Концентрация нефтепродуктов, мг/л		Время пребывания воды в сатураторе, мин	Эффект очистки от нефтепродуктов, $Э_н$,%
				в воде, поступающей во флотатор	в воде на выходе из флотатора	в воде поступающей во флотатор	в воде на выходе из флотатора		
1	Присутствуют	20,1	0,3	33 25	24 17	113 97	36 32	1	68 67
		19,8		29 21	23 18	126 107	38 33	2	70 69
		20,2		31 27	24 20	118 110	32 30	3	73 73
2		20,0	0,4	26 24	19 18	127 119	38 37	1	70 69
		19,7		23 29	16 22	132 124	34 33	2	74 73
		19,9		30 27	22 20	110 122	26 30	3	76 75
3		20,3	0,5	35 26	25 19	128 131	33 34	1	74 74
		20,1		27 28	20 21	137 126	34 32	2	75 75
		19,9		22 25	16 19	99 114	22 26	3	78 77
4	Отсутствуют	19,8	0,4	35 29	25 22	125 133	46 51	1	63 62
		20,2		28 24	21 18	116 127	42 46	2	64 64
		19,9		25 33	19 24	107 123	36 43	3	66 65

Исследования проводились:

- без добавления и с добавлением реагентов (коагулянтов и флокулянтов);
- давление в сатураторе изменялось от 0,3 до 0,5 МПа;
- время пребывания жидкости в сатураторе составляло от 1 до 3 минут;
- температура жидкости на входе во флотатор составляла +19,7…+20,3^{0}С.

Концентрация взвешенных веществ в воде, поступающей во флотатор, составляла 21-35 мг/л, а в воде на выходе из флотатора 16-25 мг/л, что подтверждает эффективность флотации прежде всего в процессах удаления плавающих веществ: нефтепродуктов, жиров, масел и др.

Концентрация нефтепродуктов в воде, поступающей во флотатор, составляла 97-137 мг/л, а в воде на выходе из флотатора – 22-51 мг/л. При добавлении в сточную воду реагентов (коагулянтов и флокулянтов) концентрация нефтепродуктов в воде на выходе из флотатора составляла 22-38 мг/л, а без добавления реагентов концентрация нефтепродуктов в воде на выходе из флотатора составляла 36-51 мг/л. Таким образом, добавление в сточную воду реагентов повышает эффективность работы установки напорной флотации.

По данным работы [6], опыт эксплуатации установок напорной флотации на различных железнодорожных предприятиях показал, что после флотационной очистки концентрация нефтепродуктов в сточной воде снижается до 20-50 мг/л. Это в достаточной мере согласуется с полученными экспериментальными данными.

4. Заключение

1. Эффект очистки от нефтепродуктов без добавления реагентов составляет 62-66 %.

2. Изучение очистки нефтесодержащих сточных вод при добавлении в сточную воду реагентов (коагулянтов и флокулянтов) показало, что при этом эффект очистки от нефтепродуктов увеличивается до 69-75 %.

3. Изучение очистки нефтесодержащих сточных вод при увеличении давления в сатураторе показало, что эффект очистки от нефтепродуктов возрастает с 67-68 % до 74-78 %, но рекомендуемое давление в сатураторе не должно превышать 0,4 МПа.

4. Изучение очистки нефтесодержащих сточных вод при изменении времени пребывания жидкости в сатураторе показало, что эффективность работы флотационной установки повышается незначительно (на 3-5 %), рекомендуемое время пребывания жидкости в сатураторе 2 минуты. Таким образом, применение напорных флотаторов с горизонтальным движением жидкости для очистки производственных сточных вод предприятий железнодорожного транспорта является достаточно эффективным методом для применения в вагонных и локомотивных депо.

Список библиографических ссылок

1. Кичигин В. И. Водоотводящие системы промышленных предприятий. М. : ЛитРес, 2016. 657 с.
2. Миронов Е. А. Закачка сточных вод нефтяных месторождений в продуктивные и поглощающие горизонты. М. : Недра, 1976. 169 с.
3. Sheshegova I., Busarev A. Wastewater treatment plant for the preparation of industrial water for waterflooding of oil reservoirs using pressure hydrocyclones // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2020. № 890. P. 012155. DOI: 10.1088/1757-899X/890/1/012155.
4. Алексеев М. И., Курганов А. М. Организация отведения поверхностного (дождевого и талого) стока с урбанизированных территорий. М. : АСВ, 2000. 352 с.
5. Решняк В. И. Организация очистки нефтесодержащей подсланевой воды при эксплуатации судов // Журнал университета водных коммуникаций. 2017. № 1 (13). С. 150–153.
6. Дикаревский В. С., Караваев Н. И., Краснянский И. И. Канализационные очистные сооружения железнодорожного транспорта. М. : Транспорт. 1973. 283 с.

7. Пономарев В. Г. Процессы разделения суспензий сточных вод. Конструкции сооружений. М. : АСВ, 2015. 228 с.
8. Verma S., Daverey A., Sharma A. Wastewater treatment by slow sand filters using uncoated and iron-coated fine sand: Impact of hydraulic loading rate and media depth // Environmental Science and Pollution Research. 2019. Vol. 26. Iss. 33. P. 34148–34156. DOI: 10.1007/s11356-018-3551-4.
9. Lee J., Lee M. Stormwater runoff treatment filtration system and backwashing system // Water Science and Technology. 2019. Vol. 79. Iss. 4. P. 771–778. DOI: 10.2166/wst.2019.097.
10. Krahnstöver T., Zenker A., Baggenstos M., Kobler B., Leikam K., Koch G., Wintgens T. Characterizing solids retention, head loss development and micropollutant removal in the case of direct powdered activated carbon dosage upstream of deep bed filtration // Environmental Science: Water Research and Technology. 2019. Vol. 5. Iss. 12. P. 2172–2181. DOI: 10.1039/c9ew00658c.
11. Башаров М. М., Сергеева О. А. Устройство и расчет гидроциклонов. Казань : Вестфалика, 2012. 92 с.
12. Sriyono K. R., Butarbutar S. L., Salimy D. H., Febrianto, Irianto I. D., Sunaryo G. R. Analysis of hydrocyclone as river water pre-treatment for tertiary coolant of RDE // Journal of Physics: Conference Series. 2019. Vol. 1198. Iss. 2. P. 345–356. DOI: 10.1088/1742-6596/1198/2/022040.
13. Yu J., Fu J. Separation performance of an 8 mm mini-hydrocyclone and its application to the treatment of rice starch wastewater // Separation Science and Technology (Philadelphia). 2020. Vol. 55. Iss. 2. P. 313–320. DOI: 10.1080/01496395.2019.1565772.
14. Yang X., Simmons M. J. H., Liu P., Zhang Y., Jiang L. Effect of feed body geometry on separation performance of hydrocyclone // Separation Science and Technology (Philadelphia). 2019. Vol. 54. Iss. 17. P. 2959–70. DOI: 10.1080/01496395.2018.1548486.
15. Urmitova N., Abitov R., Nizamova A. Oil-containing wastewater treatment by means of using coarse-grained coalescing filtering materials // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2020. № 890. P. 012151. DOI: 10.1088/1757-899X/890/1/012151.

Busarev Andrey Valerevich
candidate of technical science, associate professor
Email: reder100@rambler.ru
Selyugin Aleksandr Sergeevith
candidate of technical science, associate professor
Email: a.selyugin@inbox.ru
Kazan State University of Architecture and Engineering
The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1
Lisenkov Ruslan Albertovich
engineer of the production and technical department
Email: kpojluk35@gmail.com
Municipal unitary enterprise «Vodokanal» of Kazan
The organization address: 420087, Russia, Kazan, Rodina st., 9

Oil-containing wastewater treatment of railway transport enterprises by pressure flotation method

Abstract

Problem statement. Many industrial plants produce oily wastewater contaminated with petroleum products and suspended solids. One of the methods of oil-containing wastewater treatment is pressure flotation. The purpose of the work is to study the efficiency of cleaning industrial effluents of railway transport enterprises by the pressure flotation method. Research objectives:

1) study of the purification of oily wastewater with the addition of reagents;

2) study of the purification of oily wastewater with an increase in pressure in the saturator;

3) study of the purification of oily wastewater with a change in the residence time of the liquid in the saturator.

Results. The main results of the research are to determine the efficiency of oil-containing wastewater treatment using pressure flotation. The studies carried out at the experimental installation showed sufficiently high efficiency of using flotations with a horizontal fluid movement for the treatment of oily wastewater.

Conclusions. The significance of the results obtained for the construction industry lies in the possibility of using the developed technology for the treatment of oily wastewater using pressure flotation at enterprises that repair railway rolling stock

Keywords: oil-containing wastewater, oil product contamination, treatment, pressure flotation, experimental installation, research.

For citation: Busarev A. V., Selyugin A. S., Lisenkov R. A. Oil-containing wastewater treatment of railway transport enterprises by pressure flotation method // Izvestija KGASU. 2021. № 2 (56). P. 76–83. DOI: 10.52409/20731523_2021_2_76.

References

1. Kichigin V. I. Drainage systems of industrial enterprises. M. : LitRes, 2016. 657 p.
2. Mironov E. A. Injection of waste water from oil fields into productive and absorbing horizons. M. : Nedra, 1976. 169 p.
3. Sheshegova I., Busarev A. Wastewater treatment plant for the preparation of industrial water for waterflooding of oil reservoirs using pressure hydrocyclones // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2020. № 890. P. 012155. DOI: 10.1088/1757-899X/890/1/012155.
4. Alekseev M. I., Kurganov A. M. Organization of surface (rain and snowmelt) runoff removal from urbanized territories. M. : ASV, 2000. 352 p.
5. Reshnyak V. I. Organization of treatment of oil-containing subshell water during the operation of ships // Zhurnal universiteta vodnykh kommunikatsiy. 2017. № 1 (13). P. 150–153.
6. Dikarevskiy V. S., Karavayev N. I., Krasnyanskiy I. I. Sewage treatment plants of railway transport. M. : Transport. 1973. 283 p.
7. Ponomarev V. G. Processes of separation of wastewater suspensions. Structures of structures. M. : ASV, 2015. 228 p.
8. Verma S., Daverey A., Sharma A. Wastewater treatment by slow sand filters using uncoated and iron–coated fine sand: Impact of hydraulic loading rate and media depth // Environmental Science and Pollution Research. 2019. Vol. 26. Iss. 33. P. 34148–34156. DOI: 10.1007/s11356-018-3551-4.
9. Lee J., Lee M. Stormwater runoff treatment filtration system and backwashing system // Water Science and Technology. 2019. Vol. 79. Iss. 4. P. 771–778. DOI: 10.2166/wst.2019.097.
10. Krahnstöver T., Zenker A., Baggenstos M., Kobler B., Leikam K., Koch G., Wintgens T. Characterizing solids retention, head loss development and micropollutant removal in the case of direct powdered activated carbon dosage upstream of deep bed filtration // Environmental Science: Water Research and Technology. 2019. Vol. 5. Iss. 12. P. 2172–2181. DOI: 10.1039/c9ew00658c.
11. Basharov M. M., Sergeeva O. A. Device and calculation of hydrocyclones. Kazan : Vestfalika, 2012. 92 p.
12. Sriyono K. R., Butarbutar S. L., Salimy D. H., Febrianto, Irianto I. D., Sunaryo G. R. Analysis of hydrocyclone as river water pre-treatment for tertiary coolant of RDE // Journal of Physics: Conference Series. 2019. Vol. 1198. Iss. 2. P. 345–356. DOI: 10.1088/1742-6596/1198/2/022040.
13. Yu J., Fu J. Separation performance of an 8 mm mini-hydrocyclone and its application to the treatment of rice starch wastewater // Separation Science and Technology (Philadelphia). 2020. Vol. 55. Iss. 2. P. 313–320. DOI: 10.1080/01496395.2019.1565772.

14. Yang X., Simmons M. J. H., Liu P., Zhang Y., Jiang L. Effect of feed body geometry on separation performance of hydrocyclone // Separation Science and Technology (Philadelphia). 2019. Vol. 54. Iss. 17. P. 2959–70. DOI: 10.1080/01496395.2018.1548486.
15. Urmitova N., Abitov R., Nizamova A. Oil-containing wastewater treatment by means of using coarse-grained coalescing filtering materials // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2020. № 890. P. 012151. DOI: 10.1088/1757-899X/890/1/012151.

УДК 624.071

Зиннуров Тагир Альмирович
кандидат технических наук, доцент
E-mail: leongar@mail.ru
Майстренко Игорь Юрьевич
кандидат технических наук, доцент
Email: igor_maystr@mail.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет
Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1
Ерохин Дмитрий Игоревич
проектировщик
Email: erokhin1604@mail.ru
ООО Научно-производственный центр «Строй-Экспертиза»
Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Калинина, д. 48, оф. 506А
Замилова Айгуль Хайдаровна
проектировщик
Email: zamilova_a1994@mail.ru
ООО «А.ЭЛИТ-ГРУПП»
Адрес организации: 420107, Россия, г. Казань, ул. М. Салимжанова, д. 9, к. 2, оф. 406
Умаров Булат Шавкатович
инженер-технолог
Email: bulat.umar@gmail.com
АО «Татавтодор»
Адрес организации: 420012, Россия, г. Казань, ул. Достоевского, д. 18/75

Исследование влияния утолщений в стеклопластиковой арматуре на сцепление с бетоном

Аннотация

Постановка задачи. Совместная работа бетона и арматуры преимущественно обеспечивается механическим сцеплением. Для повышения прочности сцепления предлагается локально увеличивать сечение стеклопластиковой арматуры за счет утолщений. Утолщения создаются на производстве, путем внедрения в структуру стеклопластиковой арматуры обрезков при протяжке нитей через фильеру.

Результаты. Основные результаты работы состоят в экспериментальном исследовании нового профиля стеклопластиковой арматуры с определением прочностных и деформативных характеристик сцепления, выполненных по ГОСТ 31938-2012.

Выводы. Значимость полученных результатов исследования для строительной отрасли состоит в том, что арматурные стержни с утолщениями повышают прочность сцепления на 67,8 % по сравнению с аналогичной арматурой без утолщений и на 46,6 % по сравнению с другими производителями. Данное решение может применяться в тех случаях, когда длина заделки в бетон недостаточна для передачи усилий, то есть является альтернативой крюкам, лапкам, гайкам и т.д., применяемым для стальной арматуры.

Ключевые слова: стеклопластиковая арматура, сцепление, анкеровка, утолщение, испытание, прочность.

Для цитирования: Зиннуров Т. А., Майстренко И. Ю., Ерохин Д. И., Замилова А. Х., Умаров Б. Ш. Исследование влияния утолщений в стеклопластиковой арматуре на сцепление с бетоном // Известия КГАСУ. 2021. № 2 (56). С. 84–93. DOI: 10.52409/20731523_2021_2_84.

1. Введение

Не секрет, что в инженерном деле совместная работа бетона и арматуры определяется сочетанием физико-механических свойств этих материалов. Под нагрузкой бетон и арматура деформируются совместно, что приводит к перераспределению

напряжений в выгодном для них сочетании, то есть бетон препятствует сжатию сечения элемента, а арматура – растяжению. Следует считать, что силы сцепления между арматурой и бетоном образуются в процессе твердения бетона, когда бетон уменьшается в объеме и, обволакивая арматуру, препятствует её перемещению.

Совместная работа стержневой арматуры и бетона характеризуется несколькими условиями [1-3]:

- наличием механического сцепления, составляющим около 75 % от общей величины сцепления, которое в основном реализуется путем изменения поперечного профиля (выступы и шероховатость);
- наличием сил трения между поверхностями арматуры и бетона, возникающим в процессе твердения бетона и составляющим до 20 % от общей величины сцепления;
- наличием адгезии (межмолекулярными взаимодействиями материалов) по контуру поверхности арматуры в контакте с бетоном, составляющим около 5-10 % от общей величины сцепления.

Отметим тот факт, что прочность сцепления, как стальной, так и полимеркомпозитной арматуры (АКП), в большей степени обеспечивается механическим зацеплением арматуры за бетон, что требует более детального исследования.

Многие авторы [4-7] в своих исследованиях рассматривают совместную работу бетона и полимеркомпозитной арматуры и предлагают ряд рекомендаций по увеличению прочности сцепления. Исследования, приведенные в работах [4-6], продемонстрировали влияние типа профиля арматуры на показатель контактного напряжения. Учеными в работе [7-9] описывается исследования влияния диаметра и длины заделки полимеркомпозитных арматурных стержней на прочность и деформативность изгибаемых элементов.

Большинство авторов согласны с тем, что требуются уточнения в расчетных формулировках и коэффициентах, которые применимы к полимеркомпозитной арматуре, и учитывают особенности её строения и структуры [3]. Главный недостаток АКП заключается в обеспечении стабильной прочности сцепления арматурных стержней с бетоном, особенно на участках ее анкеровки. При недостаточной длине анкеровки стальной арматуры обычно применяют анкера. Преимущественно анкера устанавливаются на конце стержня в виде загиба, крюка или отгиба. На сегодняшний день присутствуют технологические сложности изменения формы на концах арматурных стержней из полимекомпозитных материалов даже в заводских условиях. Отсутствие возможности загибать АКП приводит к стремлению повысить механическое сцепление между полимеркомпозитной арматурой и бетоном путем формирования дополнительных неровностей.

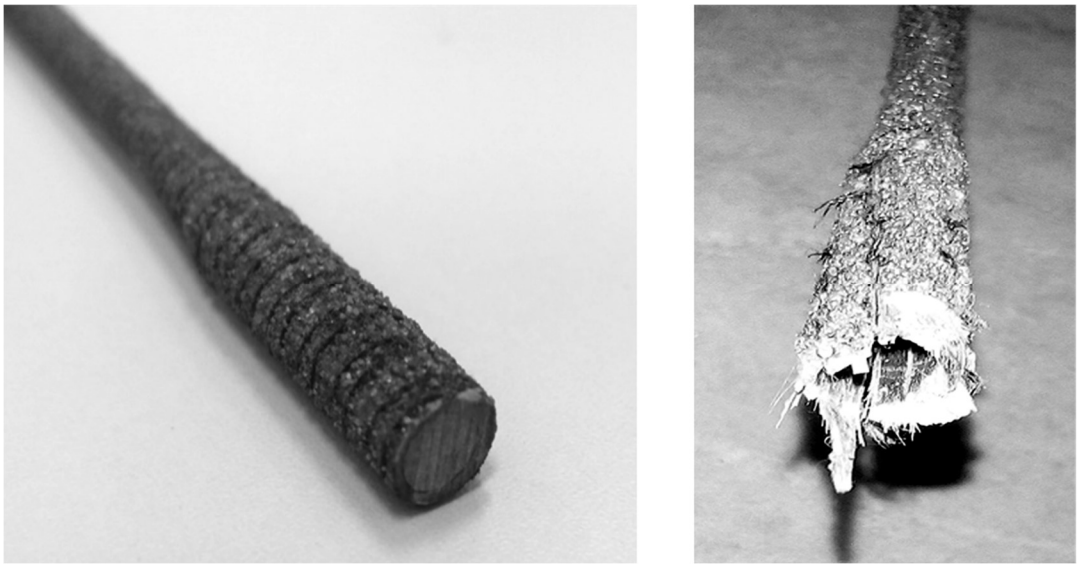
2. Материалы и методы

Авторами для повышения прочности сцепления предлагается перспективная форма профиля стеклопластиковой арматуры (АСК) с утолщениями. Данный вид стержней широко применяется в строительстве в качестве гибких связей для соединения несущего и облицовочного слоев многослойных ограждающих конструкций из штучных материалов (рис. 1а). Предложенная форма стеклопластиковой арматуры представляет собой стержень диаметром 5,5 мм изготовленный методом пультрузии, в нем с определенным шагом сформированы утолщения цилиндроконической формы диаметром 7 мм. Утолщения в стержне формируются на стадии ее протяжки за счет внедрения заранее подготовленного обрезка стеклопластиковой арматуры аналогичного диаметра.

Предварительно образцы рассматриваемой стеклопластиковой арматуры прошли испытания на разрыв, отмечается соответствие полученных результатов допускаемому диапазону разрывной силы, указанному в сертификате. Наиболее слабым участком арматуры оказалось утолщение, так как на всех образцах разрушение наблюдалось по длине анкерного участка (рис. 1б).

Авторами высказывается предположение, что утолщение сыграет роль анкера, который повысит прочность механического сцепления АСК и бетона. Выбранная форма стержня рассматривается как объект исследования, поэтому для уточнения характеристик взаимодействия бетона с альтернативной формой АСК проводилась экспериментальная работа.

Целью проводимого эксперимента является исследование взаимодействия бетона и АСК с утолщениями на действие вырывающей силы. Ход и порядок проведения эксперимента соответствует нормированной методике выдергивания стержня из куба (Pull-out test), согласно ГОСТ 31938-2012. Оборудование и оснастка, используемая в эксперименте, подробно описываются в статье [2].



а) б)

Рис. 1. Стеклопластиковая арматура с утолщением цилиндроконической формы:
а) общий вид; б) разрушение образца при испытании на разрыв (иллюстрация авторов)

Для данного испытания было изготовлено 2 вида образцов по 5 штук каждого вида. Вид образцов подобран таким образом, чтобы понять, как зависит прочность сцепления арматуры (АСК) с бетоном в зависимости от формы и длины изменения сечения стержня.

Образцы маркировали следующим образом:

- $I5.5_i$ − образцы взаимодействуют с бетоном кубика на длине 3/4 от $L_{анк}$ начальным сечением стержня, а на длине 1/4 $L_{анк}$ утолщением; общая длина анкеровки в бетон составляет 30 мм;
- $II7.0_i$ − образцы взаимодействуют с бетоном кубика на длине 1/4 от $L_{анк}$ начальным сечением стержня, а на длине 3/4 $L_{анк}$ утолщением; общая длина анкеровки в бетон составляет 30 мм.

3. Результаты

Результаты испытаний образцов представлены в табл. 1 и на рис. 2. Отметим, что нагрузка на домкрате, направленная на действие вырывающей силы из бетонного кубика, прикладывалась до момента полного или частичного проскальзывания, превышающего 2,5 мм.

Проверка адекватности полученных результатов испытания проводилась по критерию Шовене, если выполняется условие $|\overline{P}_i - P_i|>1{,}63\cdot\sigma_p$, то эксперимент считается недействительным. Следовательно, образцы $I5.5_5$ и $I7.0_2$ не прошли проверку, и не будут учитываться в дальнейшем анализе.

Величина прочности сцепления определяется по формуле ГОСТ 31938-2012:

$$\tau_r=P/cLfb, \quad (1)$$

где P − прилагаемая нагрузка, c − длина анкеровки в бетон, L_{fb} − окружность стержня, которая определяется по номинальному диаметру стержней, для образцов $I7.0_i$ в скобках указаны значения, найденные по диаметру утолщения. Результаты расчетов также занесены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты испытаний арматуры с утолщениями на действие вырывающей силы из бетонных кубиков

№ обр.	Предельная вырывающая сила *P*, кН	Критерий Шовене	τ_r, МПа	$\tau_{r.сред}$, МПа	Характер разрушения образца
Образцы I5.5$_i$					
1	9,33	0,294 < 4,021	19,65	22,34	По контактной зоне со срезом бетона
2	11,5	1,876 < 4,021	24,24		Срез песчаного слоя со смятием в зоне утолщения
3	9,84	0,216 < 4,021	20,72		
4	11,8	2,176 < 4,021	24,79		По контактной зоне со срезом бетона
5	5,57	4,054 > 4,021	-		Расслоение стержня в зоне анкеровки
Образцы II7.0$_i$					
1	11,9	1,44 < 4,813	25,04 (19,75)	21,99 (17,31)	По контактной зоне со срезом бетона
2	4,43	4,94 > 4,813	-		Расслоение стержня в зоне анкеровки
3	12,3	1,84 < 4,813	25,89 (20,36)		По контактной зоне арматуры и бетона
4	9,20	1,25 < 4,813	19,36 (15,21)		
5	8,41	2,04 < 4,813	17,70 (13,91)		

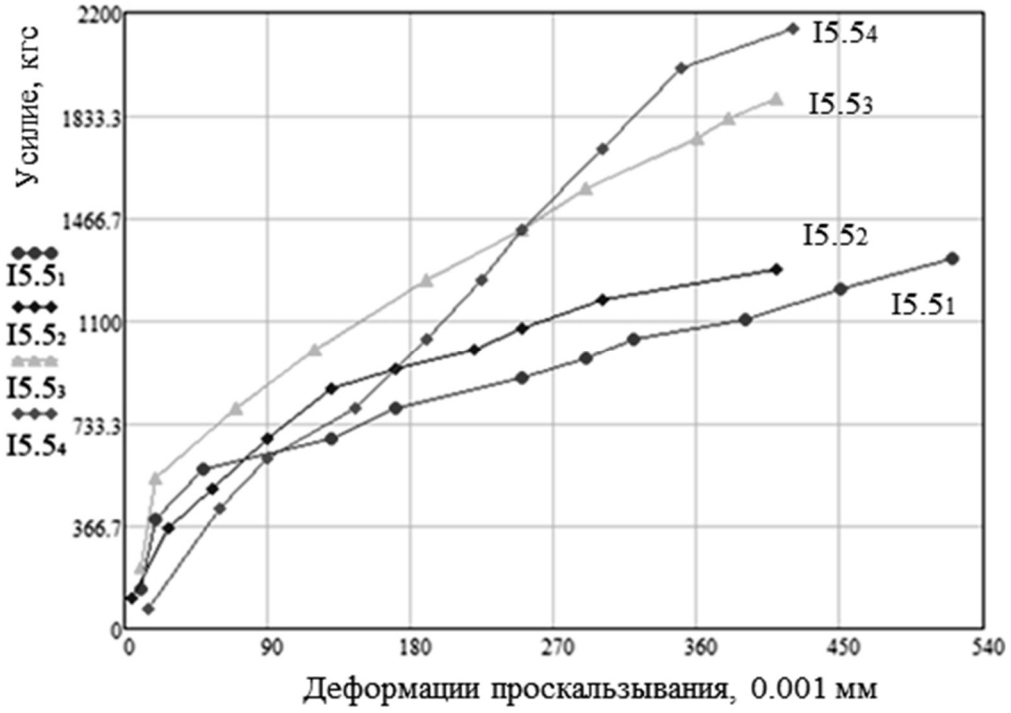


Рис. 2. Графики зависимости «усилие – деформации проскальзывания» для образцов I5.5$_i$ (иллюстрация авторов)

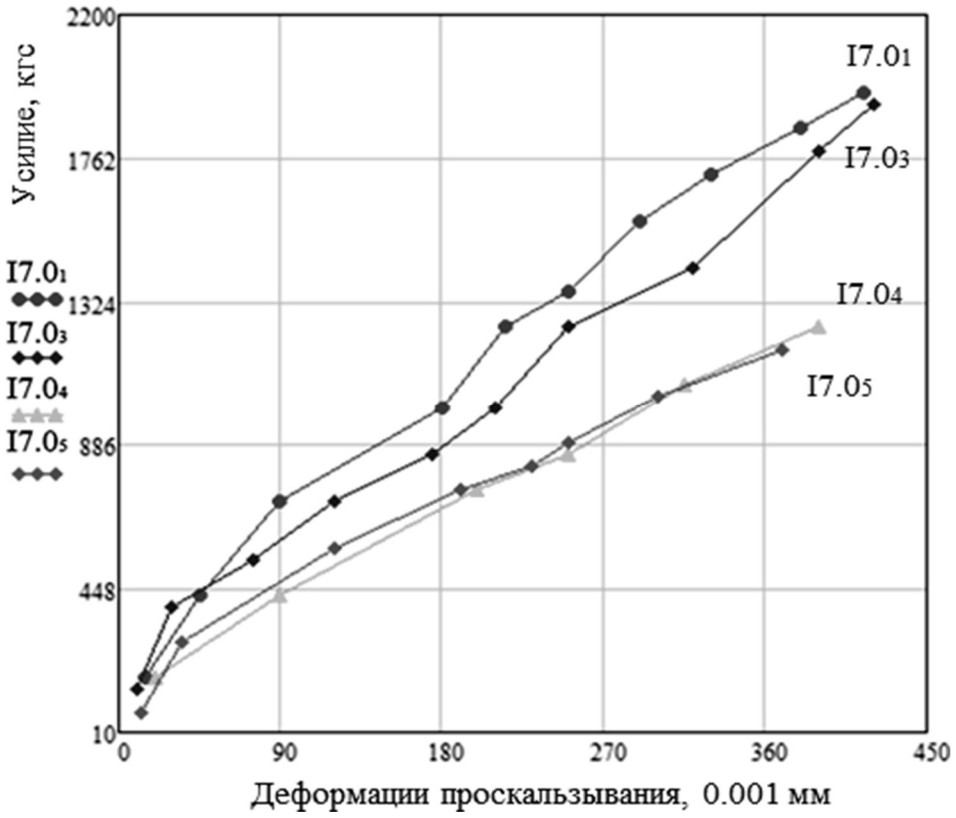


Рис. 3. Графики зависимости «усилие – деформации проскальзывания» для образцов $I7.0_i$ (иллюстрация авторов)

4. Обсуждение

Процесс разрушения механических и молекулярных связей между арматурой и бетоном представляет собой нелинейный многостадийный процесс. На графиках зависимости «усилие-проскальзывание» (рис. 2-3) можно выделить две классические зоны [1, 2]. В первой зоне происходит нарастание усилия в арматуре при относительно малых проскальзывающих деформациях стержня относительно бетона. Совместную упругую работу бетона и арматуры можно характеризовать линейной зависимостью «усилие-проскальзывание» до значений 5,4-8,3 МПа. Вторая зона характеризуется постепенным увеличением скорости деформации по причине локального проскальзывания стержня. Причинами локального проскальзывания стрежня являются нарушение связей при развитии поперечных трещин в зоне контакта и наличие неоднородного напряженно-деформированного состояния по длине анкеровки. Нелинейность в деформациях сопровождалась скачкообразными проскальзываниями стержня, которые зафиксированы при испытании образцов.

Отметим, что вырыв стержня в ходе испытания образцов, происходил по двум сценариям: разрушение контактной зоны бетона с арматурным стержнем или срез песчаного и частично эпоксидного покрытия в зоне сцепления арматуры с бетоном. Оба сценария выявили низкие показатели когезионной прочности материалов сцепления. Аналогичные результаты были получены в работах [2-3]. Разница в результатах испытания образцов $I5.5_i$ и $I7.0_i$ незначительная, а относительное отклонение составляет 1,5 %.

Если учесть тот факт, что стержни образцов $I7.0_i$ взаимодействуют с бетоном по 3/4 своей длины сечением в 7 мм, тогда пересчет по формуле (1) демонстрирует снижение предельных касательных напряжений в зоне контакта до 22,5 %. Отбросив сопротивление вырывающей силе по боковой поверхности стержня, отклонение в 22,5 % обусловлено механическим зацеплением утолщения в зоне контакта, а, следовательно, сопротивлением бетона смятию и последующему скалыванию. Для образцов $I5.5_i$, по сравнению с образцами $I7.0_i$, рабочая толщина бетона скалыванию превосходит в три раза. Полученные

выводы требуют подтверждения альтернативными методами испытания, которые позволят оценить работу цепочки утолщений в стержне совместно с бетоном.

Прежде чем перейти к выводам, проведем сравнительный анализ результатов экспериментов, которые нашли отражение в работах авторов [2-4, 7, 8-12].

Таблица 2

Сводная таблица результатов испытаний образцов в работах [2-4, 7, 8-12]

№ п/п	Вид арматуры, материалы и производитель	Фактический диаметр, мм	Класс бетона	Прочность сцепления, МПа
1	Опесчаненная стеклопластиковая арматура с утолщениями производитель ООО «Фрима»	5,5 с утолщениями до 7,0	B25	22,34
2	Опесчаненная стеклопластиковая арматура производитель ООО «Фрима» [2, 12]	5.5	B25	13,31
3	Опесчаненная стеклопластиковая арматура производитель ООО «АНП-Композит» [3]	8,0	B25	19,0
4	Стеклопластиковая арматура с вдавленной навивкой ООО «Бийский Завод Стеклопластиков» [3]	7,5	B25	15,3
5	Стеклопластиковая арматура с навивкой ООО «Бийский Завод Стеклопластиков», г. Бийск [3]	8,0	B25	14,1
6	Стеклопластиковая арматура с навивкой из стеклоровинга типа Е и смолы «Epikote 828» [10]	11,19	B25	14,26
7	Стеклопластиковая арматура с вдавленной навивкой [11]	8,0	B30	23,15
8	Стеклопластиковая арматура с модифицированной плоской навивкой стекловолокном производства ООО «Пласт-Композит» [4]	12,0	B35	15,9
9	Опесчаненная стеклопластиковая арматура из стеклоровинга типа Е и смолы винилэфирной смолы [7]	9,5	B80	26,94
10	Стеклопластиковая арматура с деформированным профилем [8]	8,0	B60	20,63
11	Опесчаненная стеклопластиковая арматура [8]	8,0	B60	18,51

В табл. 2 представлена только часть исследований в данной области и не рассматривались работы, в которых использовались модифицированные бетоны и циклические нагружения [13-17]. Нужно отметить зарубежный опыт работы с бетонами высоких классов, для которых показатели прочности сцепления существенно выше (пункты таблицы 9-11). Для дальнейшего объективного сравнения остановимся на результатах испытаний на выдергивающую силу из наиболее популярного класса бетона B25 (пункты таблицы 1-6). К этому классу относятся несколько производителей арматуры с диаметром от 5,5 до 11,29 мм, дисперсия прочности сцепления для них составляет 4,22 МПа, хотя отсутствует выраженная зависимость «прочность сцепления – диаметр», поэтому можно однозначно отметить, что на силу сцепления оказывает влияние материал и форма стержней. Невзирая на все физические и конструктивные особенности стрежней, утолщение увеличивает прочность сцепления на 46,6 % относительно среднеарифметического показателя прочности всех рассмотренных модификаций. В работе [2] использовался аналогичный вид и диаметр стержней, по сравнению с ним прочность сцепления стрежней с утолщением увеличилась на 67,8 %. Полученные результаты нельзя экстраполировать по всей длине стержня, утолщения располагаются локально. В первую очередь степень увеличения прочности сцепления будет зависеть от расположения, диаметра и длины утолщения относительно зоны контакта с бетоном.

5. Заключение

1. Потеря прочности сцепления бетона и полимеркомпозитных стержней с утолщениями носит типичный для всех аналогичных исследований когезионный характер, когда происходит разрушение контактной зоны бетона с арматурным стержнем или срез песчаного и частично эпоксидного покрытия в зоне сцепления арматуры с бетоном.

2. Экспериментальные исследования установили, что величина осевого вырывающего усилия стеклопластиковой арматуры из бетонного куба для образцов $I5.5_i$ и

$I7.0_i$ сопоставимы, относительное отклонение средних величин составляет 1,5 %. Так же было установлено, что длина анкеровки утолщения в теле бетона приводит к снижению прочности сцепления до 22,5 %. для образцов $I7.0_i$. Из-за небольшой длины контактной зоны и ограничений в количестве утолщений, полученные выводы требуют подтверждения, путем проведения альтернативных методов испытания.

3. Арматурные стержни с утолщениями повышают прочность сцепления на 67,8 % по сравнению с аналогичной арматурой без утолщений и на 46,6 % по сравнению с другими производителями. Можно сделать вывод, что наличие утолщения в зоне анкеровки повышает прочность сцепления, следовательно, участок стрежня с переменным диаметром может применяться в тех случаях, когда длина заделки в бетон недостаточна для передачи усилий.

Список библиографических ссылок

1. Холмянский М. М. Контакт арматуры с бетоном. М. : Стройиздат, 1981. 184 с.
2. Зиннуров Т. А., Пискунов А. А., Сафиюлина Л. Г., Петропавловских О. К., Яковлев Д. Г. Численное моделирование сцепления композитной арматуры с бетоном // Интернет-журнал «Науковедение». 2015. Т. 7. Вып. 4. С. 1–12. DOI: 10.15862/11TVN415.
3. Гиздатуллин А. Р. Совместная работа полимеркомпозитной арматуры с цементным бетоном в конструкциях. Казань, 2018.
4. Бенин А. В., Семенов С. Г. Экспериментальные исследования сцепления композитной арматуры с плоской навивкой с бетоном // Промышленное и гражданское строительство. 2013. Вып. 9. С. 74–76.
5. Караваев И. В., Румянцева В. Е., Коновалова В. С. Влияние вида анкеровки на адгезию композитной арматуры к бетону // Физика волокнистых материалов: структура, свойства, наукоемкие технологии и материалы (Smartex). 2017. Вып. 1. С. 115–117.
6. Исследование свойств базальтопластиковой арматуры и ее сцепления с бетоном // Строительство: наука и образование : интернет-журнал. 2014. URL: http://www.nso-journal.ru/public/journals/1/issues/2014/01/1_K ustikova.pdf (дата обращения: 12.09.2020).
7. Mazaheripour H., Barros J. A., Sena-Cruz J. M., Pepe M., Martinelli E. Experimental study on bond performance of GFRP bars in self-compacting steel fiber reinforced concrete // Composite Structures. 2013. Vol. 95. P. 202–212.
8. Saleh N., Ashour A., Lam D., Sheehan T. Experimental investigation of bond behaviour of two common GFRP bar types in high – Strength concrete // Construction and Building Materials. 2019. Vol. 201. P. 610–622.
9. Садин Э. Я. Расчетная оценка анкеровки в бетоне стеклопластиковой арматуры, производимой в Республике Беларусь // Наука и техника. 2016. Т. 15. Вып. 4. С. 308–314. DOI: 10.21122/2227-1031-2016-15-4-308-314
10. Богданова Е. Р. Изменение свойств сцепления композитной полимерной арматуры с бетоном в условиях различных сред // Строительные материалы и изделия. 2016. Вып. 2. С. 39–43.
11. Экспериментальные исследования сцепления композитной неметаллической арматуры с бетоном // Frp-rebar.com : интернет-журнал. 2017. URL: http://www. frp-rebar.com/frp-rebar_test_adhesion_concrete (дата обращения: 12.09.2020).
12. Zinnurov T., Piskunov A., Safiyulina L., Petropavlovskih O., Yakovlev D., Berezhnoi D., Balafendieva I. Numerical modeling of composite reinforcement with concrete // Journal of Physics: Conference Series. 2019. P. 042046. DOI: 10.1088/1742-6596/1158/4/042046.
13. Achillides Z., Pilakoutas K. FE modelling of bond interaction of FRP bars to concrete // Structural Concrete. 2006. Vol. 7. P. 7–16.
14. Baena M., Torres L., Turon A., Barris C. Experimental study of bond behaviour between concrete and FRP bars using a pull-out test // Composites Part B-engineering. 2009. Vol. 40. P. 784–797.

15. Benmokrane B., Tighiouart B., Chaallal O. Bond strength and load distribution of composite GFRP reinforcing bars in concrete // Aci Materials Journal. 1996. Vol. 93. P. 254-259.
16. Okelo R., Yuan R. Bond Strength of Fiber Reinforced Polymer Rebars in Normal Strength Concrete // Journal of Composites for Construction. 2005. Vol. 9. P. 203–213.
17. Alavi-Fard M., Marzouk H. Bond behavior of high strength concrete under reversed pull-out cyclic loading // Canadian Journal of Civil Engineering. 2002. Vol. 29. P. 191–200.
18. Kim B., Lee J. Resistance of interfacial debonding failure of GFRP bars embedded in concrete reinforced with structural fibers under cycling loads // Composites Part B-engineering. 2019. Vol. 156. P. 201–211.
19. Гиздатуллин А. Р., Хозин В. Г., Куклин А. Н., Хуснутдинов А. М. Особенности испытаний и характер разрушения полимеркомпозитной арматуры // Инженерно-строительный журнал. 2014. Вып. 3. С. 40–47. DOI: 10.5862/MCE.47.4.
20. Хозин В. Г., Гиздатуллин А. Р. Совместимость полимеркомпозитной арматуры с цементным бетоном в конструкциях // Construction materials. 2017. Вып. 11. С. 30–38.

Zinnurov Tagir Almirovich
candidate of technical sciences, associate professor
Email: leongar@mail.ru
Majstrenko Igor Yurevich
candidate of technical sciences, associate professor
Email: igor_maystr@mail.ru
Kazan State University of Architecture and Engineering
The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1
Erokhin Dmitry Igorevich
project designer
Email: erokhin1604@mail.ru
LLC Scientific and production centre « Stroi-Ekspertiza »
The organization address: 420043, Russia, Kazan, Kalinin st., 48, 506A
Zamilova Aigul Haidarovna
project designer
Email: zamilova_a1994@mail.ru
LLC «A.ELIT-GRUPP»
The organization address: 420107, Russia, Kazan, M. Salimzhanov st., 9, 406
Umarov Bulat Shavkatovich
technical engineer
Email: bulat.umar@gmail.com
STC «Tatavtodor»
The organization address: 420012, Russia, Kazan, Dostoevskiy st., 18/75

Investigation of the effect of thickenings in fiberglass reinforcement on adhesion to concrete

Abstract

Problem statement. The combined action of concrete and reinforcement is mostly ensured by adhesion. It is proposed to increase the cross-section of fiberglass reinforced polymer (FRP) locally to achieve a higher bond strength. Thick places are creating during the production of FRP by intervening scraps in the structure on reinforcement while threads are pulling through a die hole.

Results. The main results of the work consist of the experimental study of a new profile of FRP with the determination of the strength and deformation characteristics of the adhesion, performed by GOST 31938-2012.

Conclusions. The importance of the research results obtained for the construction industry is that bars locally increased cross-section have 67.8 % more adhesion effect compared to similar reinforcement without thickening and 46.6 % more adhesion compared to other manufacturers.

This solution can be used in cases where the length of the embedment in concrete is not sufficient to transfer forces, so it is an alternative to hooks, nuts, etc. used for steel reinforcement.

Keywords: fiberglass reinforced polymer, adhesion, anchoring, thickening, testing, strength.

For citation: Zinnurov T. A., Majstrenko I. Yu., Erokhin D. I., Zamilova A. Kh., Umarov B. Sh. Investigation of the effect of thickenings in fiberglass reinforcement (FRP) on adhesion to concrete // Izvestija KGASU. 2021. № 2 (56). P. 84–93. DOI: 10.52409/20731523_2021_2_84.

References

1. Kholmyanskiy M. M. Reinforcement contact with concrete. M. : Stroyizdat, 1981. 184 p.
2. Zinnurov T. A., Piskunov A. A., Safiyulina L. G., Petropavlovskikh O. K., Yakovlev D. G. Numerical modeling of the adhesion of composite reinforcement to concrete // Naukovedenie Internet magazine. 2015. Vol. 7. Iss. 4. P. 1–12. DOI: 10.15862/11TVN415.
3. Gizdatullin A. R. Joint work of polymer composite reinforcement with cement concrete in structures. Kazan, 2018.
4. Benin A. V., Semenov S. G. Experimental studies of the adhesion of flat-wound composite reinforcement with concrete // Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. 2013. Iss. 9. P. 74–76.
5. Karavaev I. V., Rumyantseva V. E., Konovalova V. S. Influence of the type of anchoring on the adhesion of composite reinforcement to concrete // Ivanovo State Polytechnic University // Physics of fibrous materials: structure, properties, science-intensive technologies and materials (Smartex). 2017. Iss. 1. P. 115–117.
6. Kustikova Y. O. Investigation of the properties of basalt-plastic reinforcement and its adhesion to concrete // Construction: Science and Education : Internet magazine. 2014. URL: http://www.nso-journal.ru/public/journals/1/issues/2014/01/1_Kustikova.pdf (reference date: 12.09.2020).
7. Mazaheripour H., Barros J. A., Sena-Cruz J. M., Pepe M., Martinelli E. Experimental study on bond performance of GFRP bars in self-compacting steel fiber reinforced concrete // Composite Structures. 2013. Iss. 95. P. 202–212.
8. Saleh N., Ashour A., Lam D., Sheehan T. Experimental investigation of bond behaviour of two common GFRP bar types in high – Strength concrete // Construction and Building Materials. 2019. Vol. 201. P. 610–622.
9. Sadin E. Ya. Estimated assessment of anchoring in concrete of fiberglass reinforcement produced in the Republic of Belarus // Science and technology. 2016. Vol. 15. Iss. 4. P. 308–314. DOI: 10.21122/2227-1031-2016-15-4-308-314.
10. Bogdanova E. R. Changes in the properties of adhesion of composite polymer reinforcement with concrete in different environments // Building materials and products. 2016. Iss. 2. P. 39–43.
11. Experimental studies of the adhesion of non-metallic composite reinforcement to concrete // Frp-rebar.com : Internet magazine. 2017. URL: http://www.frp-rebar.com/frp-rebar_test_adhesion_concrete (reference date: 09.12.2020).
12. Zinnurov T., Piskunov A., Safiyulina L., Petropavlovskih O., Yakovlev D., Berezhnoi D., Balafendieva I. Numerical modeling of composite reinforcement with concrete // Journal of Physics: Conference Series. 2019. P. 042046. DOI: 10.1088/1742-6596/1158/4/042046.
13. Achillides Z., Pilakoutas K. FE modelling of bond interaction of FRP bars to concrete // Structural Concrete. 2006. Vol. 7. P. 7–16.
14. Baena M., Torres L., Turon A., Barris C. Experimental study of bond behaviour between concrete and FRP bars using a pull-out test // Composites Part B-engineering. 2009. Vol. 40. P. 784–797.
15. Benmokrane B., Tighiouart B., Chaallal O. Bond strength and load distribution of composite GFRP reinforcing bars in concrete // Aci Materials Journal. 1996. Vol. 93. P. 254–259.
16. Okelo R., Yuan R. Bond Strength of Fiber Reinforced Polymer Rebars in Normal Strength Concrete // Journal of Composites for Construction. 2005. Vol. 9. P. 203–213.

17. Alavi-Fard M., Marzouk H. Bond behavior of high strength concrete under reversed pull-out cyclic loading // Canadian Journal of Civil Engineering. 2002. Vol. 29. P. 191–200.
18. Kim B., Lee J. Resistance of interfacial debonding failure of GFRP bars embedded in concrete reinforced with structural fibers under cycling loads // Composites Part B-engineering. 2019. Vol. 156. P. 201–211.
19. Gizdatullin A. R., Khozin V. G., Kuklin A. N., Khusnutdinov A. M. Features of testing and the nature of destruction of polymer-composite reinforcement // Engineering and construction journal. 2014. Iss. 3. P. 40–47. DOI: 10.5862/MCE.47.4.
20. Khozin V. G., Gizdatullin A. R. Compatibility of polymer-composite reinforcement with cement concrete in structures // Construction materials. 2017. Iss. 11. P. 30–38.

УДК 711.581

Гришина Мария Павловна
кандидат архитектуры, старший преподаватель
Email: grishinih@yandex.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет
Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1
Толмачев Аким Евгеньевич
техник-архитектор
Email: akimtolmachev@gmail.com
Сираева Аида Марсовна
техник-архитектор
E-mail: siraeva29121998@gmail.com
Научно-исследовательский проектный институт Градостроительного планирования
Адрес организации: 127015, Россия, г. Москва, ул. Бутырская, д. 42
Орлова Наталия Геннадьевна
техник-архитектор
Email: natasha-131@mail.ru
ЗАО «АртПроект»
Адрес организации: 420012, Россия, г. Казань, ул. Достоевского, д. 8

Анализ накопленного опыта по реконструкции промышленных территорий на примере городов Германии

Аннотация

Постановка задачи. С развитием технологий растет актуальность эффективного градорегулирования. Одной из главных задач градостроительного регулирования постиндустриальных городов становятся методы определения наиболее выгодного пути развития заброшенных промышленных территорий.

Результаты. Результаты данного исследования – начальный этап аналитической работы по формированию отечественной современной теоретической основы для управления городами России. Исследование направлено на приращение лучших градостроительных решений к отечественному опыту.

Выводы. Значимость полученных результатов для архитектуры состоит в открытии новых методик и особенностей градостроительной реконструкции сложившихся промышленных территорий в черте города. Также авторы раскрывают прототипы промышленных территорий и подходы к их реконструкции. В ходе исследования на примере двух немецких городов рассмотрены три морфотипа промышленных территорий: интегрированный, смежный и автономный. В статье приводится описание значения взаимоотношений и инфраструктуры в городском пространстве.

Ключевые слова: Германия, градостроительство, реконструкция, промышленные территории.

Для цитирования: Гришина М. П., Толмачев А. Е., Сираева А. М., Орлова Н. Г. Анализ накопленного опыта по реконструкции промышленных территорий на примере городов Германии // Известия КГАСУ. 2021. № 2 (56). С. 94–104. DOI: 10.52409/20731523_2021_2_94.

1. Введение

В последнее десятилетие девятнадцатого века градостроительное планирование Германии разделилось на два направления. Одно направление представляли Райнхард Баумейстер и Джозеф Стиббен. Градостроительное развитие по этой теории основывалось на улучшении санитарии и требований к функционально-планировочной структуре поселения. Другое направление представлял Камилло Ситте. Для этой теории приоритетным было развитие поселений в архитектурно-эстетическом аспекте. В результате обе теории получили реализацию в немецком градостроительстве двадцатого века [1, 2].

В начале двадцатого века плохое здоровье горожан стимулировало правительство направлять усилия для улучшения благоустроенности города. Правящие юнкерские милитаристы были обеспокоены тем, что мужчины, живущие в городах, были гораздо менее пригодны для военной службы, чем проживающие в пригороде [3]. Низкий уровень санитарного состояния немецких городов и недоступная медицина затрудняли градостроительное развитие.

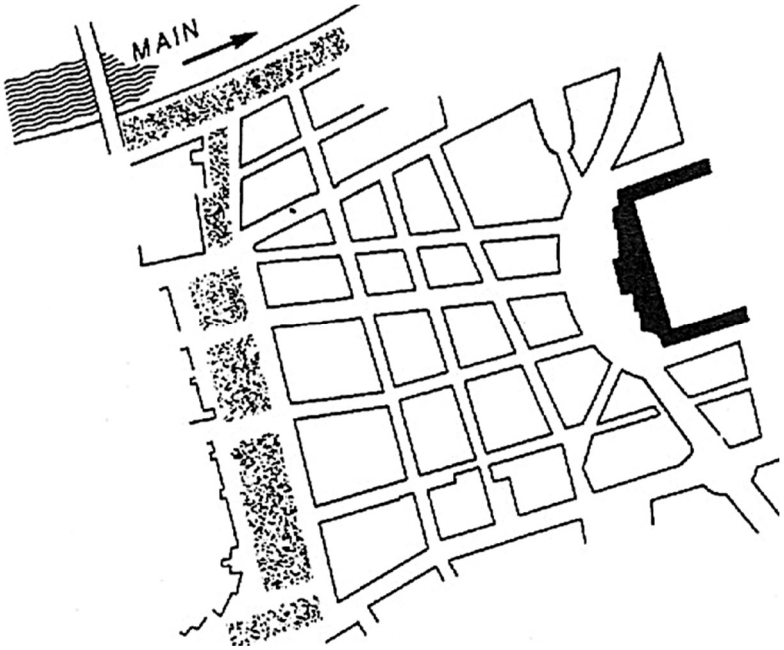


Рис. 1. Пример: квартал Hauptbahnhof. Он был добавлен к Берлину в конце 1870-х годов. (https://vk.com/albums-44535687?z=photo-44535687_457267465%2Fphotos-44535687)

По мере появления и разрастания промышленных территорий крупные инженеры, градостроители и архитекторы начали работать над проектированием в соответствии с новыми методами. Например, градостроитель Баумейстер разрабатывал грамотную планировочную структуру для комфортного передвижения жителей, учитывая при этом размещение подземных коммуникаций. Джосеф Штибен занимался написанием научных работ по внедрению в городское планирование методов здравоохранения и соблюдения санитарных зон. Камилло Ситте – австрийский архитектор-градостроитель был вовлечен в создание и разработку планировочных решений с акцентом на психологическое и физиологическое восприятие [2, 3].

Постепенно немецкое городское планирование становилось все более легализованным, что послужило созданию первой Европейской градостроительной документации. В эту документацию входили: определенный лимит высоты зданий, размер площади под планировку промышленных центров, было задокументировано создание и разработка генеральных планов по развитию городов, были также разработаны стандарты пожарной безопасности и конструктивные особенности для разработки промышленных объектов [1, 4].

После промышленной революции, города и индустрия развивались вместе. Корпоративные города и целые столичные регионы выросли вокруг индустриальных центров. Сегодня в урбанизме изучается взаимосвязь между современными практиками городского планирования и территориями, предназначенными для производства товаров. К сожалению, во многих странах этот аспект мало изучен, и не развит, в связи с чем стоит обратиться к странам, которые активно занимаются реконструкцией промышленных территорий и внедрением их в городские пространства, например, к Германии.

Одним из первых примеров реконструкции является Центр искусств и медиа технологий в Карсруэ (Германия). Размещенный в 1997 году на территории и в корпусах индустриального предприятия «IKWA-Карлсруэ-Аугсбург» современного общественного

центра стало одним из примеров радикального пересмотра роли промышленного объекта в обновлении городского ландшафта. Широкие, высотой в три этажа блоки здания фабрики симметрично расположены вокруг десяти внутренних дворов. Заброшенное в семидесятые, а затем оккупированное художниками, в конечном счете, здания завода были переведены в ряд памятников промышленной архитектуры [5].

В развивающихся современных городах в последние годы реконструкция промышленных территорий, а именно адаптивное использование зданий, сооружений, комплексов при изменении или интегрировании их изначального функционального назначения в структуру города является особенно актуальной.

Цель – выявить возможность адаптации существующего положительного опыта в развитии постиндустриальных городских территорий в России.

Задачи:

- изучить подходы зарубежных архитекторов в реновации промышленных территорий;
- рассмотреть положительный опыт в решении функционально-планировочных задач на примере промышленных территорий Франкфурта и Мюнхена;
- сформулировать наиболее эффективные подходы к градостроительному преобразованию промышленных территорий в черте города.

2. Материалы и методы

В исследовании применены общенаучные методы анализа – анализ и систематизация данных на основе изучения литературных источников, изучения немецкого опыта преобразований и интеграций промышленных территорий.

В ходе исследования использована градостроительная документация немецких городов. Например, в градостроительной документации использовались факты, хронология и масштабы реорганизации промышленных территорий. А также исследованы последствия влияния преобразований на градостроительное развитие.

Основные методы исследования:

- изучение географического положения промышленных зон в структуре города. Взаимосвязи промышленных зон с градостроительными инфраструктурами (транспортной, социальной, инженерной);
- применена типология промышленных территорий по нескольким категориям;
- использованы методы систематизация промышленных территорий по принципам их градостроительногоформирования;
- с использованием методики градостроительного анализа, произведена реализация подобных типов на примере Мюнхена.

Исследование проводилось с целью выявления различных типов промышленных зон, а также процессов интегрирования этих типов в городскую среду, на примере городов Германии. Ниже приведена используемая методика выявления и классификации (рис. 2-5) промышленных зон, исходя из их местоположения в структуре города.

Хронологическая эволюция, используемая в исследовании, оказала огромное экономическое, социальное и пространственное влияние на города и способствовала созданию трех современных прототипов промышленных пространств: интегрированного, смежного и автономного, а именно:

- интегрированные: жилые, коммерческие и промышленные земли слиты или расположены близко друг к другу в пространстве. Часто в результате (незапланированного) роста производство является неотъемлемой частью структуры города. Различные области использования не имеют четких пространственных границ и имеют тенденцию растворяться друг в друге и в городской ткани.
- смежные: промышленное и жилое землепользование разделено по дизайну и политике на отдельные районы города (часто с помощью физических барьеров или природных элементов) в попытке изолировать несовместимые виды землепользования и предотвратить экологические опасности.
- автономные: отдельные крупные промышленные фабрики или бизнес-парки, предназначен не для автономной работы. Функционирующие как независимые кампусы, промышленные районы окружены открытыми пространствами и расположены в

непосредственной близости от железных дорог, автомагистралей и аэропортов, что делает упор на эффективное перемещение материалов, товаров и рабочих.

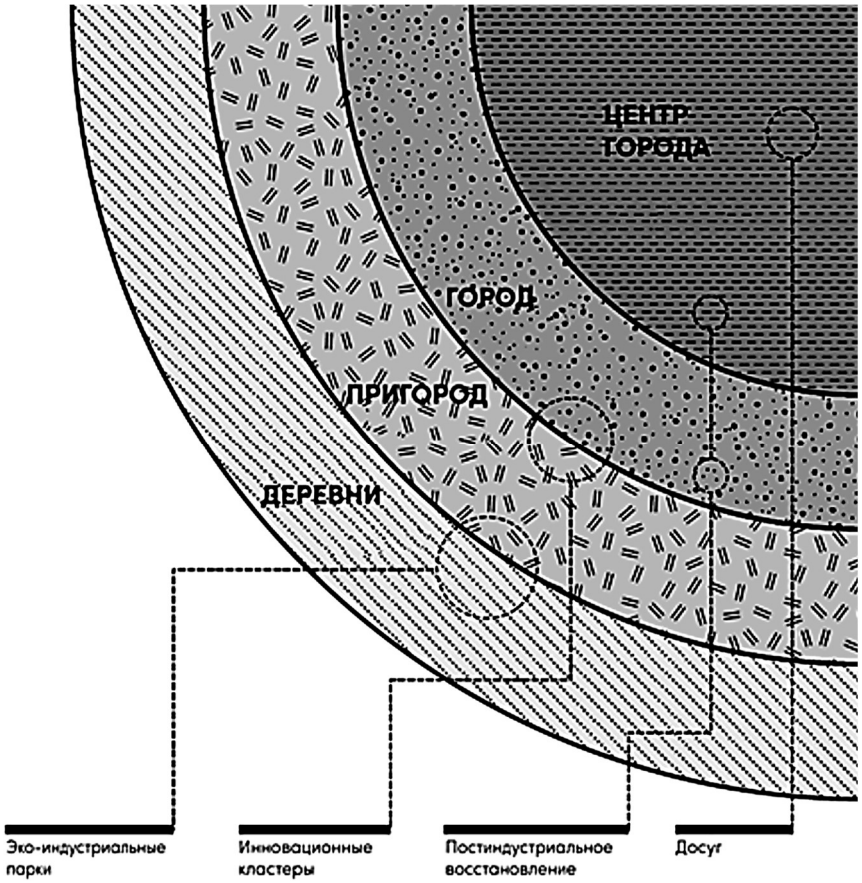


Рис. 2. Диаграммавявления географического расположения различных типов промышленных территорий относительно центра города (https://vk.com/doc32213212_596319297?hash=6d7b2e71bc3fc16f65&dl=c6aba8b8a897edaaee)

Рис. 3. Исторически сложившиеся морфотипы промышленных пространств (https://vk.com/doc32213212_596319306?hash=8fed1fa283b9a39a57&dl=11bf637738ff8dd773)

Все эти прототипы – демонстрируют три идеализированных этапа отделения производства от города, усиления централизованного управления промышленными зонами и влияния международных компаний на местную экономику и физические пространства [5, 6, 10].

На рис. 4 изображен применяемый алгоритм формирования модели преобразования территории, выявленный при анализе исторического преобразования городов Мюнхен и Франкфурт. Это наглядный пример концептуального решения городских районов индустриального периода. Так же показано соотношение дорог, жилых и общественных зданий, промышленных и общественных территорий. На рис. 5 отражены результаты реализации представленных концептуальных моделей в разных странах.

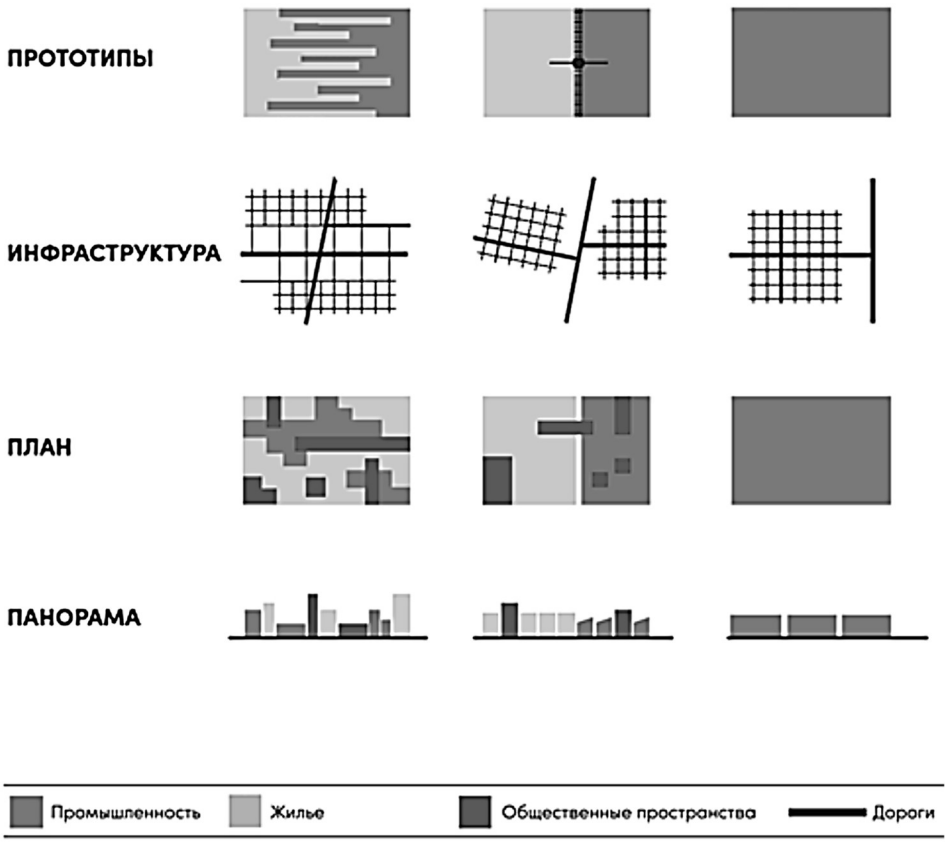


Рис. 4. Примеры инфраструктуры, зонирования и панорамы каждого из прототипов (https://vk.com/doc32213212_596319310?hash=6d08cdf0602a05b484&dl=a9056b7e8732005e53)

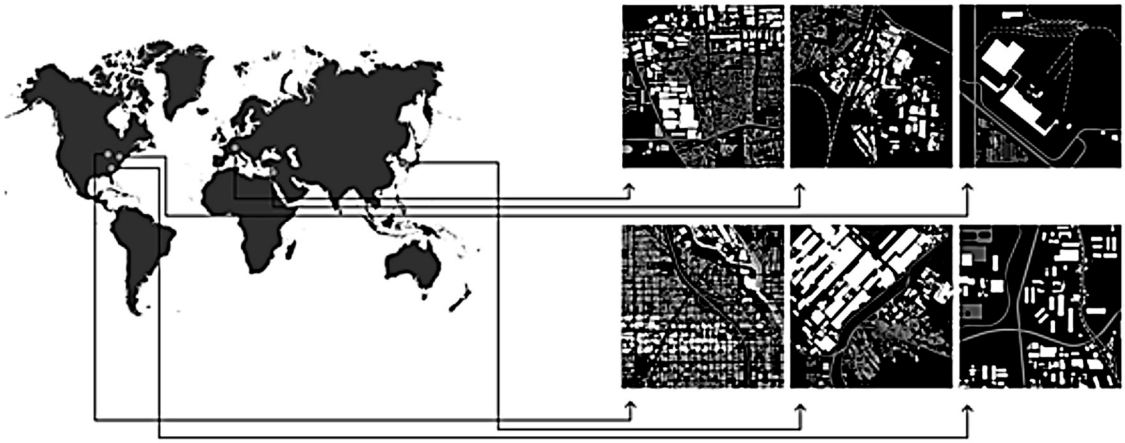


Рис. 5. Несколько примеров этих прототипов, в Германии, Израиле, США и Южной Корее (https://vk.com/doc32213212_596319318?hash=098ca7edd9978aae7c&dl=209f0fe24658cab597)

Примером грамотного современного преобразования промышленных территорий является Мюнхен. Известный своей электроникой и передовым производством, Мюнхен является одним из ведущих производственных регионов Германии, поддерживающим широкий спектр промышленной деятельности, от небольших ремесел до инновационных услуг и высокотехнологичной сборки. Один из самых известных заводов города, BMW Werk Munich, был открыт в 1920-х годах и первоначально предназначался для производства авиационных двигателей и силовых агрегатов [11-13]. Это была сельская земля, и прилегающая территория оставалась неосвоенной до окончания Второй мировой войны, когда город расширился, и завод постепенно превратился в жилую и коммерческую застройку. Эта картина изменится после 1972 года, когда Олимпийский

парк Мюнхена откроется к западу от завода, образуя окончательную границу площадки. С тех пор завод расширился вертикально, а не горизонтально [14].

Ниже (рис. 6, 7) проиллюстрировано как применение методики интеграции в городскую среду промышленной территории, и определения прогнозов его дальнейшего развития.

Рис. 6. Схема расположения в черте города и окружающей инфраструктуры» (иллюстрация авторов)

Рис. 7. Схема Фигур-граунд завода BMW (иллюстрация авторов)

Используемая в исследовании методика основана на следующих аспектах:

- Отношения – Relationship.

На этой диаграмме показана объединенная территория завода BMW и соседних промышленных районов. За четыре десятилетия вокруг фабрики постепенно выросли жилые и коммерческие площади. Сегодня кампус расположен к югу от крупного железнодорожного вокзала и в 15 минутах езды от центра Мюнхена [8, 15]. Завод BMW окружают небольшие производственные и связанные с ними объекты. Их использование варьируется от автомобильных до сервисных компаний.

- Инфраструктура – Infrastructure.

Более 50 % автомобилей, собираемых здесь, отправляются по железной дороге. Участок также окружают основные магистрали и коллекторные дороги. Однако значительная часть произведенных автомобилей доставляется напрямую отдельным клиентам на месте, что снижает зависимость предприятия от инфраструктуры. Кроме того, 60 % автомобилей производятся по запросу (производство точно в срок), что снижает потребность в лишних складских площадях [16]. Из-за пространственных ограничений предприятия на заводе используется многоуровневая подземная система хранения, вместо внешних парковок,

которые обычно встречаются за пределами заводов по сборке автомобилей. Система внутренней циркуляции производственной линии также является многослойной, что позволяет максимально эффективно использовать ограниченное пространство.

На рис. 7 приведен пример графического анализа городской территории. В виде пятен застройки показаны пятна промышленных и жилых зданий на территории завода BMW и вокруг него. Завод, показанный в юго-западном углу изображения, расположен на пересечении двух основных дорог. Завод и окружающую его промышленную зону можно определить по более крупным строениям неправильной формы, которые отражают характери использование этих специализированных производственных помещений. Меньшие жилые дома на востоке типичны для немецкого жилья, известного своими длинными прямоугольными многоквартирными домами. Жилой район и производственный кампус обращены друг к другу, где деревья, тротуары и двухполосные улицы между ними помогают поддерживать жизнеспособность района [7, 17, 18].

3. Результаты и обсуждения

На сегодняшний день в Германии есть еще множество примеров грамотного интегрирования промышленных предприятий в городскую ткань. К таким можно отнести Шахту Цольферайн, расположенную на границе северо-восточных районов Эссена, промышленный кампус Витра. Общей схожестью многих промышленных объектов является создание индустриальных парков, насыщение их функциями смешанного использования, а также образовательными функциями. Множество крупных индустриальных парков проводят экскурсии для туристов по производствам, что дает положительный экономический эффект.

В результате изучения подходов зарубежных архитекторов в реновации промышленных территорий городов Германии стало ясно, что наиболее эффективным в градостроительстве является комплексный подход в градостроительных решениях. Одной из главных задач такого подхода является глубокий всесторонний анализ взаимосвязей территории со всеми градостроительными инфраструктурами.

Франкфурт – первый немецкий пример преобразования промышленной территории. В 1891 г. для Франкфурта был разработан Закон о зонировании и призывал к развитию города в два типа: внутренний город и внешний город. Во внутренний город входил средневековый Альтштадт, с высокоразвитым зонированием. Целью зонирования в этой области было сохранить сложившийся общественный характер и историческую культурную застройку. Во внешней части города были созданы три подобласти: внутренняя, внешняя и сельская. В каждой допустимая высота новостроек и процент покрытых участков уменьшается в зависимости от расстояния до ядра (внутреннего города) [2, 6, 7]. Одной из ошибок планирования Франкфурта стало создание крупного городского порта, который не был связан с городским зонированием. Проект был разработан, чтобы сделать Франкфурт крупным портом для движения по реке Рейн-Майн. Но городская гавань была слишком мелкой, чтобы туда могли причалить большие суда [8]. Таким образом, город решил углубить реку и построить интегрированный порт с причалом, складскими помещениями, улицами, магазинами, фабриками и домами для рабочих. Город купил 1180 соток земли, из них 110 соток под водохранилище, 290 соток под железные дороги и др. насыпи, и 750 соток под промышленное использование. Проект был тщательно интегрирован, но отделен от самого города. Таким образом, был организован легкий доступ по реке до Франкфурта и при этом вредные выбросы от предприятий не доходили до города.

Однако, несмотря на грамотную перепланировку города Франкфурт, порт, который должен был стать точкой притяжения и основной торговой точкой был отделен от города. Таким образом, сформировался город в городе, где промышленность, торговля и перевозки по воде были вынесены за жилые районы Франкфурта, что повлекло отсутствие комфортной связи между городом и портом, и оттоком большой экономической выгоды из города в порт.

В последствии после Второй Мировой Войны города разрастались, фабрики внутри городов со временем перемещались в геометрический центр. Территории бывших фабрик на периферии города урбанизировались. Однако, пример Франкфурта оказал огромное влияние на внедрение промышленных объектов в городскую инфраструктуру.

Таким образом, к концу XX века немецкие модели планирования предлагали правила зонирования для решения проблемы вредной деятельности фабрик. Попытка обеспечить более здоровые условия жизни для заводских рабочих сформировалась в виде городов-компаний и городов-садов, которые позже послужили прототипами для городов, построенных после окончания Второй мировой войны.

Исходя из анализа географического положения различных промышленных территории, были выявлены абстрактные отношения между промышленной типологией и географическим положением. Предприятия и складские зоны расположены в отдаленных районах и, как правило, там, где стоимость земли самая низкая. Индустриальные парки (специально организованные для размещения новых производств территории, обеспеченные энергоносителями, инфраструктурой, необходимыми административно-правовыми условиями, управляемые специализированной компанией) обычно расположены вдали от городских центров, либо в сельской местности, либо в пригородах, либо на городской периферии. Эта форма возникла после Второй мировой войны и сегодня часто доминирует в индустриальном ландшафте. Офисные парки похожи на индустриальные парки, но, как правило, поддерживают сферы услуг, которые менее требовательны к земле и меньше зависят от железнодорожного и водного транспорта. Из-за их меньшего размера (и отсутствия вредных промышленных отходов) они могут располагаться внутри городов. Унаследованные городские фабрики существуют в самом городе, даже в центральных деловых районах. Ситуация усугубляется высокой стоимостью аренды помещений в центре города [9]. Эти фабрики часто превращались в промышленные городки, которые в противном случае делали промышленное использование незаконным из-за правил землепользования. Эко-индустриальные парки больше всего напоминают индустриальные парки, определенные ранее, но они организованы вокруг общей цели экологической устойчивости. Инновационные кластеры предназначены для получения выгоды от агломерации: то есть отдельные фирмы в аналогичных отраслях могут повысить свою производительность за счет своей близости друг к другу. Они имеют тенденцию быть вертикально интегрированными, включая исследования, администрирование, производство и распространение.

Проведенное исследование показывает, что производство составляет значительную часть общей экономической деятельности развитых городов, и промышленность занимает большие площади в нашей искусственной среде, но мы склонны думать о промышленности в экономическом или политическом контексте, часто без учета пространственных или географических соображений [6, 15]. Полученные результаты в очередной раз показывают, что проблема устойчивого развития современных городов будет заключаться не в самом факте роста производства, а в том, где именно размещены его промышленные территории и от уровня развития смежных градостроительных инфраструктур. Однако в результаты исследования по-прежнему не дают однозначного ответа на вопрос, что потребует с производством в будущем. С другой стороны, городам необходимо начать готовить почву и создавать правильные условия для повторного освоения промышленности нового поколения в их среде.

Исходя из анализа исторического преобразования городов, на примере Франкфурта и Мюнхена, была выявлена хронологическая эволюция промышленных территорий. В дальнейшем это может послужить проведению систематических сопоставлений в исследованиях различных авторов работающих в выбранном направлении исследований.

В результате проведенного анализа зарубежного опыта сформулированы наиболее эффективные подходы к градостроительному преобразованию промышленных территорий в черте города. А также выделены морфотипы реконструируемых территорий.

4. Заключение

1. Был изучен мировой опыт реновации промышленных территорий, который можно адаптировать для решения градостроительных вопросов городов России.

2. Рассмотрев и изучив опыт решения функционально-планировочных задач на примере промышленных территорий Франкфурта и Мюнхена, стало возможно сформулировать три ключевые проблемы преобразования заброшенных промышленных территорий: первая – недостаточное знакомство широкой общественности и политических лидеров с современной промышленностью; вторая – ограниченное и

сокращающееся предложение городских земель, предназначенных для промышленных предприятий; третья – конфликтность или отсутствие у городов пространственных стратегий поддержки и развития производственных зон.

3. Были выделены следующие градостроительные принципы наиболее выгодного пути развития заброшенных промышленных территорий:

1. Пространственный принцип – это планировочная эффективность реконструкции городских промышленных территорий.

2. Сценарный принцип – это функциональная востребованность новой городской территории.

3. Вариативный принцип – это возможность объективного выбора наилучшей стратегии развития новой территории города.

Список библиографических ссылок

1. Mullin J. American Perceptions of German City Planning at the Turn of the Century. // Urbanism Past and Present. 1976. № 35. P. 5–15.
2. Реновация промышленных территорий и объектов // Arch-Grafika.ru : ежедн. интернет-изд. 2007. URL: http://arch-grafika.ru/publ/bez_kategorij/bez_kategorij/renovacija_promyshlennykh_territorij_i_obektov/12-1-0-69 (дата обращения: 29.04.2021).
3. Malcovati S.Das alte Frankfurt: Urban Neighborhood versus Housing Estate, the Rebirth of Urban Architecture // Urban planning. 2019. № 4 (3). P. 117–133.
4. Hatuka T., Ben-Joseph E., Industrial urbanism: places of production. // Tel Aviv University and Massachusetts Institute of Technology. № 12 (18). 2017. 79 p.
5. Gudina M., Prokofiev E. The principles of identity in the renovation of industrial buildings in historical cities of Russia // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2020. P. 103–110.
6. Kuznetsov S. O. Analysis of activities for the management of the urban planning process in Moscow early. In: XVIII-Late XX Century Academia, Architecture and Construction. 2020. Vol. 1. P. 29–38.
7. Khusnutdinova S., Zakirova, J., Ulengov, R., Khusnutdinov R. Policentricity as a way to sustainable development of the city (the case-study of the city of Kazan : dig. of art. 17th international multidisciplinary scientific geoconference (SGEM) / STEF92 Technology Ltd. Albena, Bulgaria, 2017. P. 603–610.
8. Filatov V., Yazev G., Sagina O. Revitalization of urban areas on the basis of industrial parks // MATEC Web of Conferences. 2018. № 170. P. 01130. DOI: 10.1051/matecconf/201817001130 SPbWOSCE-2017.
9. Gudina M., Prokofiev T. Preservation of the structure of the building in the process of renovation of industrial architecture : 2nd International Scientific Conference on Socio-Technical Construction and Civil Engineering (STCCE-2021). 2021. 9 p. DOI: 10.1051/e3sconf/202127401006.
10. Котенко И. А., Токарева В. А. Реновация бывших промышленных территорий // Вестник СГАСУ: Градостроительство и архитектура. 2015. № 3 (20). С. 47–52.
11. Егорова Т. Д., Иванова Н.С., Варшавер Е.А. Формирование иммигрантских кварталов в Швеции: на примере Ринкеби, Стокгольм // Журнал СФУ. Гуманитарные науки. 2020. № 13 (7). С. 1112–1125.
12. Лазарев К. В. Методы архитектурно-ландшафтной реабилитации нарушенных территорий. М., 2003. URL: http://metody-arkhitekturno-landshaftnoi-reabilitatsiinarushenniykh-territirii (дата обращения: 20.12.2017).
13. Ландшафтный парк «Дуйсбург-Норд» // Esosedi.org :ежедн. интернет-изд.URL: http://ru.esosedi.org/DE/NW/1000241452/landshaftnyiy_park/ (дата обращения: 15.05.2021).
14. Bo01, Malmo, Sweden // Urbangreenbluegrids.com :ежедн. интернет-изд. URL: http://www.urbangreenbluegrids.com/projects/bo01-city-of-tomorrow-malmo-sweden/ (дата обращения: 15.05.2021).
15. Мальмё. Восставший из промышленного пепла // Strelka.com : ежедн. интернет-изд. 2016. URL: https://strelka.com/ru/magazine/2016/09/20/benchmarkingmalmo/(дата обращения: 15.05.2021).

16. Открытие арт-парка «Символ» на территории завода «Серп и молот» в Москве // Museum.ru:ежедн. интернет-изд. 2016. URL: http://www.museum.ru/N62768 (дата обращения: 02.05.2021).
17. Lusan V. S., Pimenova N. N., Khrebtov M. Ya., Khudonogova A. E., Sertakova E. A., Shimanskaya K. I. Transformation of the Krasnoyarsk Urban Space in the 90s of the 20th Century // Журнал Сибирского федерального университета. Гуманитарные науки. 2019. № 12 (6). С. 1017–1034. DOI: 10.17516/1997–1370–0438.
18. Brumfield William C. Gateway to Siberia: the architectural Heritage of Verkhoturye and Ekaterinburg // Journal of Siberian Federal University. Humanities & Social Sciences. 2017. Vol. 5. P. 612–617.

Grishina Maria Pavlovna
candidate in architecture, senior lecturer
Email: grishinih@yandex.ru
Kazan State University of Architecture and Civil Engineering
The organization address: 420043, Russia, Kazan, st. Green, d. 1
TolmachevAkimEvgenievich
technician-architect
Email: akimtolmachev@gmail.com
Siraeva Aida Marsovna
technician-architect
Email: siraeva29121998@gmail.com
Research and Design Institute of Urban Planning of the City of Moscow
The organization address: 127015, Russia, Moscow, Butyrskayast., 42
Orlova Nataliia Gennadevna
technician-architect
Email: natasha-131@mail.ru
ZAO «ArtProject»
The organization address: 420012, Russia, Kazan, Dostoevsky st., 8

Analysis of the accumulated experience in the reconstruction of industrial territories on the example of German cities

Abstract

Problem statement. With the development of technologies, the relevance of effective urban regulation is growing. One of the main tasks of urban planning regulation of post-industrial cities is the method of determining the most profitable way of developing abandoned industrial territories. Thus, without studying the current urban planning processes, assumptions about the options for the development of the city.

Results. The results of this study are the initial stage of painstaking analytical work on the formation of the domestic modern theoretical basis for the management of Russian cities. The research results are aimed at incrementing the best urban planning solutions to the domestic experience.

Conclusions. The significance of the results obtained for architecture lies in the discovery of new methods and features of urban planning reconstruction of the existing industrial territories within the city. The author also reveals prototypes of industrial areas and approaches to their reconstruction. In the course of the study, using the example of two German cities, three morphotypes of industrial territories were considered: integrated, adjacent and autonomous. The article describes the meaning of relationships and infrastructure in the urban space.

Keywords: Germany, urban planning, reconstruction, industrial territories.

For citation: Grishina M. P., Tolmachev A. E., Siraeva A. M., Orlova N. G. Analysis of the accumulated experience in the reconstruction of industrial territories on the example of German cities // Izvestija KGASU. 2021. № 2 (56). P. 94–104. DOI: 10.52409/20731523_2021_2_94.

References

1. Mullin J. American Perceptions of German City Planning at the Turn of the Century. // Urbanism Past and Present. 1976. № 35. P. 5–15.
2. Renovation of industrial territories and facilities // Arch-Grafika.ru: daily. online ed. 2007. URL: http://arch-grafika.ru/publ/bez_kategorij/bez_kategorij/renovacija_promyshlennykh_territorij_i_obektov/12-1-0-69 (reference date: 29.04.2021).
3. Malcovati S. Das alte Frankfurt: Urban Neighborhood versus Housing Estate, the Rebirth of Urban Architecture // Urban planning. 2019. № 4 (3). P. 117–133.
4. Hatuka T., Ben-Joseph E. Industrial urbanism: places of production. // Tel Aviv University and Massachusetts Institute of Technology. 2017. № 12 (18). 79 p.
5. Gudina M., Prokofiev E. The principles of identity in the renovation of industrial buildings in historical cities of Russia // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. P. 103–110.
6. Kuznetsov S. O. Analysis of activities for the management of the urban planning process in Moscow early // XVIII-Late XX Century Academia, Architecture and Construction. 2020. Vol. 1. P. 29–38
7. Khusnutdinova S., Zakirova, J., Ulengov, R., Khusnutdinov R. Policentricity as a way to sustainable development of the city (the case-study of the city of Kazan : dig. of art. 17th international multidisciplinary scientific geoconference (SGEM) / STEF92 Technology Ltd. Albena, Bulgaria, 2017. P. 603–610.
8. Filatov V., Yazev G., Sagina O. Revitalization of urban areas on the basis of industrial parks // MATEC Web of Conferences. 2018. № 170. P. 01130. DOI: 10.1051/matecconf /201817001130 SPbWOSCE-2017.
9. Gudina M., Prokofiev T. Preservation of the structure of the building in the process of renovation of industrial architecture: 2nd International Scientific Conference on Socio-Technical Construction and Civil Engineering (STCCE-2021). 2021. 9 p. DOI: 10.1051/ e3sconf/202127401006.
10. Kotenko I. A., Tokareva V. A. Renovation of former industrial territories // Bulletin of SGASU: Urban planning and architecture. 2015. № 3 (20). P. 47–52.
11. Egorova T. D., Ivanova N. S., Varshaver E. A. Formation of immigrant quarters in Sweden: on the example of Rinkeby, Stockholm // Journal of Siberian Federal University. Humanitarian sciences. 2020. № 13 (7). P. 1112–1125.
12. Lazarev K. V. Methods of architectural and landscape rehabilitation of disturbed territories. M., 2003. URL: http: // metody-arkhitekturno-landshaftnoi-reabilitatsiinarushenniykh-territirii (reference date: 20.12.2017).
13. Landscape Park «Duisburg-Nord» // Esosedi.org: daily. online ed. URL: http://ru.esosedi.org/DE/NW/1000241452/landshaftnyiy_park/ (reference date: 15.05.2021).
14. Bo01, Malmo, Sweden // Urbangreenbluegrids.com: daily. online ed. URL: http://www.urbangreenbluegrids.com/projects/bo01-city-of-tomorrow-malmo-sweden/ (reference date: 15.05.2021).
15. Malmö. Risen from industrial ashes // Strelka.com: daily. online ed. 2016. URL: https://strelka.com/ru/magazine/2016/09/20/benchmarkingmalmo/ (reference date 15.05.2021).
16. Opening of the Symbol art park on the territory of the Hammer and Sickle plant in Moscow // Museum.ru: ezhedn. online ed. 2016. URL: http://www.museum.ru/N62768 (reference date: 02.05.2021).
17. Lusan V. S., Pimenova N. N., Khrebtov M. Ya., Khudonogova A. E., Sertakova E. A., Shimanskaya K. I. Transformation of the Krasnoyarsk Urban Space in the 90s of the 20th Century // Journal of the Siberian Federal University. Humanitarian sciences. 2019. № 12 (6). P. 1017–1034. DOI: 10.17516/1997-1370-0438.
18. Brumfield William C. Gateway to Siberia: the architectural Heritage of Verkhoturye and Ekaterinburg // Journal of Siberian Federal University. Humanities & Social Sciences. 2017. Vol. 5. P. 612–617.
19. Brumfield William C. Gateway to Siberia: the architectural Heritage of Verkhoturye and Ekaterinburg // Journal of Siberian Federal University. Humanities & Social Sciences. 2017. Vol. 5. P. 612–617.

УДК 711.01.09
Захарова Екатерина Владимировна
техник-архитектор
Email: ezva1226@gmail.com
ООО «Мириада групп»
Адрес организации: 420030, Россия, г. Казань, ул. Московская, д. 15
Дембич Александр Алексеевич
кандидат архитектуры, доцент
Email: interra.kgasu@mail.ru
Сайфутдинова Аделя Мусаяфовна
кандидат технических наук, доцент
Email: adelyasaif@rambler.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет
Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1

Воссоздание идентичности места при осуществлении градостроительной реконструкции на примере территории Ямской слободы, г. Казани

Аннотация

Постановка задачи. Цель исследования – поиск и определение историко-культурной идентичности фрагмента исторического центра города Казани (Ямской слободы), посредством выделения утраченных функций и особенностей среды, а также дальнейшая разработка рекомендаций для реновации участка в современных социально-экономических, культурных условиях.

Результаты. Проведен анализ теоретических основ, историко-градостроительный анализ территории исследования, социологический опрос, синтез и обобщение данных. На данной основе разработаны рекомендации по сохранению, воссозданию и развитию историко-культурной идентичности фрагмента исторического центра города Казани на примере территории Ямской слободы.

Выводы. Значимость полученных результатов для строительной отрасли и градостроительной практики состоит в возможности применения выявленных принципов организации пространства в рамках реконструкции и комплексного освоения территории Ямской слободы исторического поселения города Казани с учетом ценности, и степени сохранности ее отдельных фрагментов.

Ключевые слова: историко-культурная идентичность, сохранение и туристическое использование архитектурного наследия, дух места, градостроительное развитие исторических поселений, исторический центр.

Для цитирования: Захарова Е. В., Дембич А. А., Сайфутдинова А. М. Воссоздание идентичности места при осуществлении градостроительной реконструкции на примере территории Ямской слободы, г. Казани // Известия КГАСУ. 2021. № 2 (56). С. 105–117. DOI: 10.52409/20731523_2021_2_105.

1. Введение

Территория исторического поселения столицы республики Татарстан занимает 22 тыс. га, или 4 % всего города (Приказ от 13.03.2017 № 218ОД «Об утверждении границ территории, предмета охраны и требований к градостроительным регламентам в границах территории исторического поселения регионального значения г. Казань»), но при этом сосредоточивает в себе все смыслы Казани и приказанского региона. Значительная часть данной территории носит статус центральной исторической части, но фактически пребывает в стагнирующем состоянии. Особенно остро это касается территорий, находящихся вблизи объектов железнодорожного сообщения, из-за чего затруднена связь города с Волжским побережьем, его освоение и благоустройство. На этих участках создается неблагоприятный климат для горожан и гостей города, низкая плотность

населения ведет к нерациональному использованию территории, и неэффективному землепользованию. Связано это прежде всего с недооцененностью культурного потенциала некоторых территории, незнанием истории отдельных мест. Также из-за историко-культурных ограничений на активную градостроительную деятельность встала проблема «процессов заброшенности и деградации или, что еще хуже незаконной строительной деятельности» [1].

С середины XXVIII века данные территории занимали похожее социальное положение (Ямская, Мокрая слободы), ввиду отсутствия должного уровня инженерной инфраструктуры, территориально-географического положения («…на низменные болотистые берега в устье Булака горожане издавна свозили навоз, мусор и нечистоты в надежде на то, что весеннее половодье унесёт всё это в Волгу» [2]). Однако с сегодняшним уровнем технического прогресса подобные проблемы ушли в прошлое, но низкий социальный статус этих территорий по-прежнему сохранился. Экономико-географическое положение территории бывшей Ямской слободы обладает большим потенциалом, тем не менее, ввиду сохранения идентичности места требует подробного изучения и анализа, разработки рекомендаций и методов организации пространства для возможности их применения в градостроительной отрасли.

Использование методики историко-культурной оценки для обеспечения эффективного землепользования территориями исторических поселений, анализ теоретических основ и разработка методов сохранения, реставрации, восстановления памяти места и идентичности территории – актуальная фундаментальная научная проблема. Процесс потери архитектурной и художественной самобытности исторических центров городов России является нарастающей тенденцией, в краткосрочной перспективе грозящей утратой национальной идентичности. После утверждения Советом при Президенте Российской Федерации законопроекта «Формирование комфортной городской среды (протокол от 21 ноября 2016 года № 10), разрабатывается новая система оценки качеств городской среды, в которой официально фигурирует критерий «наличие идентичности города», которая, в свою очередь, складывается из идентичности его отдельных участков.

Объектом исследования является фрагмент исторического центра Казани – территория, исторически связанная с местом селения ямщиков, развитием Ямской слободы. Предмет исследования – историко-культурный потенциал этой территории и возможности его использования.

В отношениях идентичности с городом следует различать понятия «городская идентичность» (качества и ассоциации жителей города о себе, как о гражданах), «идентичность города» (общие ассоциации с городом), «идентичность с городом» (город – контекст в становлении личности) [3]. Однако в случае данного исследования больший смысл имеет понятие идентичности определенного городского участка.

С точки зрения рассмотрения архитектурной среды интерес вызывает работа исследователя Д. Летербарроу, предлагающего изменить постановку вопроса «что есть архитектура?» на вопрос «как?». Иными словами, «каким способом здание действует? Что архитектурная работа действительно делает?» Д. Летербарроу в своих размышлениях определяет два вида архитектурного перформатива: «Первый вид – это технический и продуктивный, второй – контекстуальный и проективный» [4]. Подобного мнения придерживался Иконников А.В. [5]. В приведенных выше работах не употребляется понятие «идентичность», тем не менее именно оно в лучшей степени доносит основную мысль авторов. Взаимные ссылки исследователей дают понимание того, что при всей многогранности в понятии содержится сущностное ядро, сохраняющееся при любом его применении. Архитектура и искусство могут воплотить исторические, культурные и экономические характеристики города, воспоминания городов играют жизненно важную роль в сохранении их физического и нефизического наследия [6]. Таким образом, представление об идентичности связано со смысловым полем материального – архитектурных форм, ландшафта, свойственных конкретному месту и периоду времени и нематериального – культуры, событий, опыта, в котором создается и воспринимается всё материальное. Другими словами, идентичность – непрерывная взаимозависимость

нематериального и материального, свойственного конкретному пространству, имеющая важное социально культурное значение, так как в исходной городской ткани, воплощенной в планировке, улицах и зданиях продолжается социальная жизнь, потому что они являются городскими узлами, которые, «несмотря на последовательные преобразования и многие проблемы, продолжают доказывать свою подлинность до наших дней» [7].

Близкий по значению термин «дух места» упоминается в работах Т.Э. Кадырова [8], Т.В. Красновой и М.Б. Пермякова, который, как считают авторы, является одним из главных составляющих грамотной реконструкции и нового проектирования в исторической среде. Т.В. Краснова и М.Б. Пермяков придают особую важность архитектурной среде, которая «должна выступать в роли механизма, который сохраняет информационный баланс, учитывает информационный фактор с привязкой к картине мира [9], также большой акцент ставится на общественные пространства в исторических центрах городов. Грамотное обобщение выводов об рекреационных ландшафтах в центре города сформировано исследователем Р. Гамбасси в утверждении о «невозможности общественных пространств, расположенных в центре исторических городов, быть нейтральными в отличие от общественных пространств, расположенных на окраине города» [10].

В общем смысле термины «дух места» и «идентичность» территории тождественны, это подтверждается высказыванием: «Уважать «дух места» не означает копировать старые модели. Это значит определить идентичность места и интерпретировать его все новыми способами» [11]. Необходимость интеграции городских образований является приоритетом нашего времени, наряду с необходимостью возродить новую жизнь и смысл структур, которые были созданы до нас с другими целями и задачами» [12].

Переходя к территории исследования, стоит отметить, что строгой регулярной планировке исторического центра Казани предшествует основа веерно-лучевой концентрической структуры, сложившейся в XV-XVIII вв. «Выпрямлять» же улицы начали после утверждения Екатериной II нового плана города, разработанным В.И. Кафтыревым в 1768 г. [13]. В данный период основные улицы города ориентируются на Кремль, остальные - на существующие высотные доминанты и акценты, вокруг которых формируются площади, благодаря застройке общественными зданиями строго вдоль «красных линий» улиц. Например, из плана Кафтырева видно, что 1-я Ямская улица (ныне улица Астрономическая) ориентирована на Троицкий храм (ныне утрачен), Варламовская улица (ныне улица Межлаука) перспективой была устремлена на церковь Варлаамия Чудотворца (ныне утрачена) и т.д.

Здесь же на нижней террасе согласно писцовым книгам в XVI веке у западного конца нынешней улицы Тази Гиззата возникла Ямская Слобода, состоявшая из 62 дворов привилегированного сословия ямщиков (По Б. М. Кисину, от тат. «дзям» – «дорога»), которые числились на государственной службе и не были строго подчинены городскому главе [14]. Именно здесь начинался Московский тракт, по которому шло основное сообщение между городами. Главными обязанностями жителей Ямской слободы были доставка грузов, почты и государственных служащих. Следовавшие по казенной надобности лица могли получить здесь подводы, продовольствие и желанный отдых [15].

После отмены ямской повинности (1842 г. [15]) и прокладки железнодорожных путей (1894 г. [14]), начался процесс утраты исторически сложившейся идентичности данной территории.

Выявление характеристик присущих территории, раскрытие ее новых возможностей и потенциала ее объектов, а также воссоздание и оживление городского пространства является неотъемлемыми этапами процесса ревитализации [16]. Проблемам ревитализации и реконструкции исторических территорий города Казани (Республика Татарстан, Российская Федерация) посвящены исследования Айдаровой Г.Н. [17], Миниханова Ф.Г. [18].

Целью исследования является разработка рекомендаций по реконструкции квартала на территории Ямской слободы (Казань), способствующих воссозданию и раскрытию историко-культурной идентичности места посредством оценки и сбалансированного применения выявленных позитивных особенностей архитектуры и культуры для дальнейшего устойчивого развития центра города Казани.

Задачи исследования:

1. Анализ теоретических основ современных мировых градостроительных подходов к реорганизации территорий, расположенных в исторических районах.

2. Историко-градостроительный анализ территории с целью выявления этапов развития Ямской слободы, значимости отдельных архитектурных объектов.

3. Определение составляющих элементов «духа места», формирующих систему знаковых объектов локальной идентичности отдельной локации в городской ткани.

4. Разработка рекомендаций по реконструкции и дальнейшему развитию квартала, с воссозданием историко-культурной идентичности.

2. Материалы и методы

Настоящее исследование проводилось в процессе разработки эскизного проекта реконструкции фрагмента территории исторического центра города Казани. В июле 2020 года после этапа двухлетней работы группы, созданной президентом Республики Татарстан Р.Н. Минниханов, О. Маклаковым была представлена концепция устойчивого развития исторического поселения г. Казани. По итогу работы разработана аутентичная стратегия развития по трем основным блокам:

- развитие общественных пространств;
- планировочной структуры;
- функциональной активности.

В силу больших объемов информации и площади территории, рабочей группой были заданы общие направления развития для крупных участков центра. Данная методика легла в основу для дальнейшего исследования и работы над фрагментом территории Ямской слободы в более детальном масштабе.

Территориальные границы исследования ограничены площадью в 11,8 га фрагмента территории исторического центра города Казани. Участок обрамлён с севера улицей Чернышевского; с востока – улица Московская; с юга улицей Галиаскара Камала; с запада – железнодорожными путями. Хронологические рамки исследования – конец XVI века (одно из первых упоминаний Ямской слободы в писцовых книгах [19]) по настоящее время. Определение методов исследования исходило из поставленных ранее задач:

1. Анализ теоретических основ современных мировых градостроительных подходов к реорганизации территорий, расположенных в исторических районах:

В рамках данной задачи, используя методы критического изучения и систематизации библиографических источников, нормативных актов была сформирована и изучена теоретическая база исследования, выявлены общие определения и составляющие понятий «идентичность» и «дух места», рассмотренных во взглядах авторов разных философско-идеологических течений; произведен комплексный анализ отечественного и зарубежного опыта по формированию архитектурной среды в условиях исторического центра города.

В поиске способов развития городских пространств и их трансформированию в историческом становлении изучены работы К. Зитте, Ле Корбюзье, К. Линча, А.Э. Гутнова, А.С. Щенкова. Базируясь на теоретической основе, были изучены проекты реконструкции исторических частей города с сохранением их отдельных фрагментов, направленные на подчеркивание идентичности места, созданных с учетом мировых тенденций устойчивого развития (Ренцо Пьяно. Реконструкция московской ГЭС-2. Москва, Россия. 2020; Zaha Hadid Architects. Реконструкция здания бывшей пожарной станции в порту Антверпена, Бельгия. 2009; Heatherwick Studio. Coal Drops Yard. Лондон, Великобритания. 2018; ODA. Реконструкция здания бывшего сахарного завода в районе DUMBO. Бруклин, Нью-Йорк, США. 2019).

2. Историко-градостроительный анализ территории с целью выявления этапов развития Ямской слободы, значимости отдельных архитектурных объектов:

Во второй части исследования изучена история становления территории Ямской слободы, учитывающая формирование застройки, морфологию улиц, их влияние на уклад жизни. Использованы материалы Генерального плана г. Казани В.И. Кафтырева 1768 года и нового Генерального плана до 2040 года, документы градостроительного регулирования по условиям охраны объектов культурного наследия г. Казани. Индуктивно выделены основные

исторические этапы развития. Выявлены и прослежены основные предпосылки и причины появления существующих сегодня проблем. Для оценки текущего состояния территории Ямской слободы использован метод натурного обследования территории, фотофиксация. Был произведен комплексный градостроительный анализ территории по выработанному плану, с использованием программ для работы с данными геоинформационных систем. Благодаря градостроительному анализу территории была проанализирована связность улично-дорожной сети, функциональное наполнение территории и его процентное соотношение, площадь застройки, ее физическое состояние.

3. Определение составляющих «духа места», формирующих систему знаковых объектов локальной идентичности территории:

В процессе работы над данной задачей был проведен социологический опрос. Список вопросов выстроен на критериях, определенных как наиболее значимых для решения поставленных проблем. Временной промежуток опроса разделен на две части (выходной и будний день) для опрашивания более широкого круга пользователей. Учитывалось мнение как обычных прохожих (24 человека), так и работников участка исследования (8 человек). Половозрастной состав опрошенных представлен группами мужчин (12 человек) и женщин (20 человек) от 18 до 67 лет. Формат опроса носил характер неформального диалога или дружеской беседы.

4. Разработка рекомендаций по реконструкции и дальнейшему развитию квартала, с воссозданием историко-культурной идентичности.

Методом синтеза и обобщения полученных данных, опираясь на результаты проведенного исследования были разработаны рекомендации по развитию территории Ямской слободы.

3. Результаты и обсуждение

Опираясь на изученный материал и теоретические разработки модели К. Линча «структура – опознаваемость – значение» [20], составлен план-система (табл. 1), основанная на пространственно-временном анализе объекта и его масштабе в ткани города для изучения архитектурно-пространственной среды, позволяющая грамотному формированию стратегии дальнейшего развития участка.

Таблица 1

План-система для анализа архитектурно-пространственной среды

Теоретическая модель К. Линча	Стабильность показателя	Трактовка составляющих показателя в данном исследовании
Структура	Наиболее стабильный	Трансформирование планировочной структуры городской ткани, включая транспортные и пешеходные связи.
Опознаваемость	Менее стабильный	Трансформация архитектурно-пространственной среды, включая открытые общественные пространства, дизайн-код, малые архитектурные формы и художественно-декоративные элементы города.
Значение	Наименее стабильный	Изменение отношения пользователей к территории, включающее нематериальные аспекты, как ассоциации, чувства, образы, эмоции и общие психологические аспекты посетителей. Показатель подверженный постоянным изменениям, но четко отражающий общее состояние объекта в определенный момент времени.

Трактование пункта «значение» в табл. 1 является особенно важным, так как данный пункт открывает многообещающие перспективы для возможности решения актуальных вопросов в текущих дисциплинарных дебатах, касающихся, жизнеспособности и ухода за городскими пространствами, эффективности вовлечения и расширения прав и возможностей местных сообществ в процессах преобразования пространства [20].

Далее были выделены основные исторические этапы в развитии Ямской слободы:

1. Начало в XVI века – формирование территории слободы за посадской стеной города, примерный размер в 62 двора.

2. 1505 год – упоминание в летописях о празднике Сабантуе, ежегодно проводимом на Ханском лугу (заливная пойма Волги за железнодорожным вокзалом).

3. 1729 год – вход слободы в черту города, по причине сноса посадской стены для предотвращения пожаров.

4. XVIII век – увеличение слободы по причине примыкания к ней слободы Рогожкина и Прилуцкой, примерная численность ямщиков достигает 200 человек.

5. XVIII-XIX вв. – строительство и реставрация культовых центров духовной жизни слободы – Троицкой церкви (1722 г.), Церкви Смоленской иконы Божией Матери (Варлаамовской, 1726 г.). Насыщенный высотными доминантами профиль города, со строгой планировкой улиц и площадей.

6. 1842 год – отмена ямской повинности.

7.1884 год – на плане Казани, выпущенном С. Монастырским, Первая Ямская улица фигурирует как Мочальная площадь.

8. 1894 год – строительство железной дороги, которая затронула часть слободы.

9.Конец 1920-х годов – окончание строительства южного обхода железной дороги, прокладка рельсовых путей по улице Ямская, перекрытие выхода слободы к реке Волге железнодорожными путями.

10. На плане г. Казани 1926 г. в списке слобод название Ямской слободы уже не фигурирует.

11. 1929 год – снос Троицкой церкви в связи с политической обстановкой в стране.

12. 1931 год – строительство хлебобараночного комбината на месте Троицкой церкви.

13. 1932 год – снос Варлаамовской церкви и строительство здания Центрального рынка на её месте. Резкое изменение силуэта города, его обеднение в высотных акцентах (рис.).

14. 1957 год – в связи с образованием Куйбышевского водохранилища с южной стороны Ямской слободы проложена дамба. Небольшое изменение рельефа.

15. 2003 год – строительство трёхэтажного торгового центра «Муравейник» общей площадью 14 000 кв. метров (в плане символизирует растянутую татарскую гармонь).

16. 2004-2005 года – перестройка здания Центрального рынка к Тысячелетию Казани.

17. 2005 год – благоустройство привокзальной площади, перенос конечных разворотных петлей трамвайных путей.

18. 2013 год – привокзальная площадь создана заново при подготовке к Универсиаде.

На основе комплексного предпроектного анализа сделан вывод о том, что территория Ямской слободы, входящая на сегодняшний день в центральную часть города, не во все времена воспринималась как периферийная часть. Изначально территория имела статус места пересадки людей, писем и грузов, затем стала центром торговли, с развитием технического прогресса (прокладка железной дороги), сменой политического режима (атеизм) ее (слободы) обособленное положение усугубилось – резко уменьшилось количество жителей, обеднел архитектурный силуэт.

Авторами были выделены проблемы центральной части города, прямо и косвенно связанные с сохранением идентичности рассматриваемой территории:

- дисгармоничность пространственной организации;
- отсутствие системы композиционных связей в застройке и ландшафте, ориентиров, свойственных исторической части города;
- утрата исторически сложившегося облика старинного города;
- низкий уровень социального статуса территории;
- малое количество жилой застройки;
- отсутствие организованного выхода в реке Волге и благоустройства набережной.

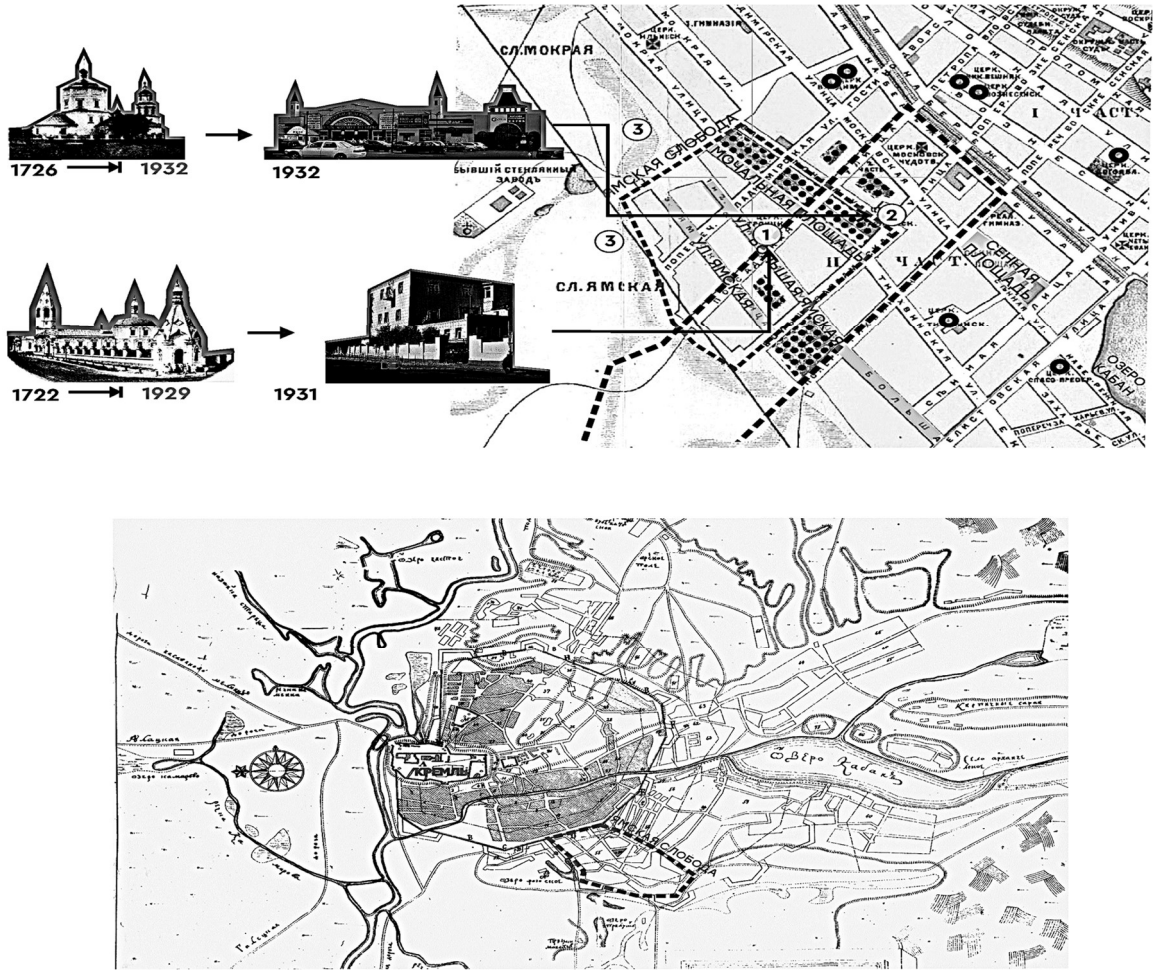


Рис. Метаморфозы архитектурных сооружений. План Казани, 1887 год
(http://tat-map.ru/news/2012-02-04-22):
1 – церковь Живоначальной Троицы (Троицкий храм);
2 – церковь Смоленской иконы Божией Матери (Варлаамовская);
3 – Ханский луг (место проведения Сабантуев) (иллюстрация авторов)

К ресурсам территории, способствующих раскрытию потенциала можно отнести:

- местоположение территории на главных визуальных и пространственных связях города с волжским побережьем, в процессе освоения и благоустройства которого территория объекта исследования будет служить местом главных транзитных коридоров;
- высокая транспортная доступность различных видов общественного транспорта;
- наличие объектов культурного наследия, исторически ценных зданий;
- резервы территории заброшенных промышленных и хозяйственных объектов;
- близость акватории реки Волги;
- наличие глубокой истории места.

Используя данные опроса и теоретические разработки модели К. Линча «структура – опознаваемость – значение» [21] был составлен список основных критериев существующего «духа места» и соотнесён с историей развития территории Ямской слободы, представленный в табл. 2. Таким образом, были установлены основные векторы и принципы способов возрождения идентичности места.

Таблица 2

Определение составляющих «духа места», формирующих систему знаковых объектов локальной идентичности территории

Идентификатор «духа места». Вопросы опроса		**Существующие**		**Утраченные/замененные** составляющие «духа места» применительно к территории Ямской слободы (данные исторического анализа)
		Данные опроса (повторяемость/ общее кол-во опрошенных)	Составляющие «духа места» применительно к территории Ямской слободы (ответы опрошенных)	
Опознаваемость	Природно-ландшафтный: - Назовите ближайший парк/сквер, где можно прогуляться? - В каком направлении нужно идти, чтобы прийти к Волге?	3/32	сквер Бурхана Шахиди	Мочальная площадь
		2/32	набережная реки Волги	Ханский луг
		1/32	Куйбышевское водохранилище (река Волга)	Река Волга
	Архитектурный: - Какие главные объекты строительства вы можете выделить на данной территории? - Какие объекты вы чаще всего посещаете?	1/32	Казанский хлебобараночный комбинат (Нариманова, 13 – заброшен)	Церковь Живоначальной троицы
		32/32	Колхозный рынок	Церковь Смоленской иконы Божией Матери
		0/32	Здание цеха ткацкой фабрики Шогиной (объект культурного наследия)	Здание цеха ткацкой фабрики Шогиной (объект культурного наследия)
		2/32	Мебельный базар	–
Значение	Ассоциативный (эмоции/ ассоциации/ запахи /чувства): - Назовите три слова, характеризующих данную территорию; - Что бы помогло Вам определить, эту территорию, если бы Вас привезли сюда с завязанными глазами.	1/32	«Ржавый пояс»	Суета, шум, оживленность улиц, жилые деревянные дома, лошади, иногородние приезжие
		4/32	беспорядок	
		9/32	грязь	
		6/32	пустырь	
		4/32	запах машинного масла/бензина	
		15/32	рынок	
		2/32	заросли	
		1/32	Звук взмаха крыльев голубей	
		5/32	Запах хлеба (лепешек из тандыра)	
		9/32	Тихо и спокойно	
		7/32	Работа	
	Функциональный: - Какая главная цель вашего посещения данной территории? - Достаточно ли разнообразная среда? Что можно добавить?	32/32	Торговля	Торговля, логистика грузов, людей, туристический привал
		6/32	Стоянка и ремонт транспорта	
		5/32	Офис	
		2/32	Жилье	
	Образный: - С именем какого человека ассоциируется для Вас территория?	0/32	Торговец	Михаил и Василий Свечниковы
Структура	Линейный – пути/улицы	ул. Гаяза Исхаки		- ул. Володарского - ул. Варламская
		ул. Бурхана Шахиди		- ул. Ухтомского (до 2005 г.) - ул. Посадская - Мочальная площадь («Новый хлебный базар»)
		ул. Чернышевского		ул. Поперечно-Владимирская
		ул. Нариманова		1-ая и 2-ая Ямская улицы
		ул. Ямская		3-я Ямская улица
		ул. Мартына Межлаука		Большая Варламская улица (1887)
		ул. Московская		- ул. Кирова (до 2004) - ул. Московская - Московский тракт
		ул. Тази Гиззата		Посадская улица
		ул. Галиаскара Камала		Поперечно-Тихвинская улица
		ул. Габдуллы Тукая		ул. Тихвинская

Социологический опрос посетителей и жителей территории показал, что 65% (21 человек) опрошенных не знают, что Казань – город на Волге, на каком берегу расположен город. Ни один из опрошенных не смог привести пример известной личности/образа территории. Ни один из опрошенных не подозревал, что в недалеком прошлом на территории исследования стояли храмы и церкви. На вопрос о разнообразии и качестве среды были получены ответы, что можно «причесать» территорию, на вопрос о том, что можно было бы добавить, опрошенные затруднялись ответить. Всё это говорит о незнании истории места, об утрате исторической ценности территории.

На основании проведенного исследования были разработаны рекомендации по развитию территории Ямской слободы. При этом функционал территории взят на основе исторической реконструкции, таким образом, воссоздана утраченная идентичность места и подчеркнуто локальное своеобразие. В основу концепции заложена деятельность жителей Ямской слободы, порождающая следующие связи в наполнении территории:

- Функциональная активность и архитектурно-пространственная среда. Ассоциативная линия: ямщики – различных видов перевозки – туристическая логистика, сопутствующие объекты обслуживания.

Транспортное обеспечение территории, близость объектов транспортного обслуживания (железнодорожный вокзал – 200 м, автовокзал – 800 м, речной порт – 900 м), исторический подтекст, резервы свободных от застройки участков позволяют и диктуют сценарий возможного функционального использования территории. Целесообразна организация центра туристической логистики, где гости и жители города могли бы получить информацию об актуальных туристических маршрутах, иметь комфортное место сбора и отправления туристических автобусов, удобный узел для пересадки на городское транспортное сообщение и ночлег на время поездки в шаговой доступности от главных достопримечательностей города. Развитие архитектурно-планировочной среды должно быть осуществлено в соответствии с композиционно-пространственной логикой на базе исторических морфотипов застройки, учитывая визуальные и доминантные связи.

- Общественные пространства. Ассоциативная линия: Мочальная площадь – рыночные павильоны – «восточный базар».

Контекст торговых улиц играет важную роль в создании особой атмосферы места. Следовательно, программы улучшения должны учитывать доминирующую функцию места, воспринимаемую пользователями, на сегодняшний день это торговля. Вывод предполагает, что необходимо дальнейшее улучшение разборчивости и комфорта на традиционных торговых улицах, чтобы обеспечить чувство идентичности. При этом для поддержки уличной активности подобные улицы должны быть включены в общий природно-рекреационный каркас, обеспечивая беспрепятственное и непрерывное движение пользователей к берегу Волги, положительно влияющее на общую экономику среды.

- Дизайн код. Ассоциативная линия: ямщики – торговцы – торговые пути – карты – точки – линии.

В дизайн коде главных объектов притяжения, несомненно, должны быть использованы исторические моменты, образы и личности, косвенно отражающие культурные феномены территории. В их состав можно включить:

- истории о купцах Свечниковых;
- истории о существовавших в прошлом храмах;
- использовать образ ямщика как символ пути, как нечто глобальное, курсирующее, связующее между локациями.

При этом в так называемых «переходных» территориях, граничащих с бывшей территорией Ямской слободы, не имеющих богатой истории, применим опыт гибридного дизайна. Городские практики в переходных пространствах требуют, чтобы практикующие поставили себя на службу жителям, постулировали «погружение» в контекст и нуждались в устранении эпистемологических барьеров, для коллективного обучения и расширения прав и возможностей местных сообществ.

4. Заключение

1. Анализ теоретических основ современных мировых градостроительных подходов к реорганизации территорий, расположенных в исторических районах, показал, что в них, а использование и сохранение именно существующих объектов и особенностей среды. В данном же исследовании принцип подхода к поиску идентичности идет от обратного, для того чтобы стагнирующая пространственная среда обрела новую жизнь, ей возвращается утраченная идентичность, путем выделения позитивных качеств материальных и нематериальных ценностей среды в прошлом.

2. В результате историко-градостроительного анализа территории выявлено, что память об утраченных памятниках архитектурного наследия никоим образом не отражена в современной архитектурно-пространственной среде, несмотря на то что имеются и позитивные исторические факты, применимые в брендировании территории. На сегодняшний день значимой является функция места – торговля, вне зависимости от состояния и образа объектов застройки, что было подтверждено результатами социологического опроса.

3. В отношении определения и воссоздания составляющих «духа места» территории Ямской слободы, главная ассоциативная линия рекомендуемого проектирования, заложенная в трёхступенчатую систему «функциональная активность и архитектурно-пространственная среда – общественные пространства – дизайн код» была выстроена на ассоциации ямщицкого извоза и туристической логистики. Выявленные составляющие «духа места» диктуют возможные сценарии проектирования, способствующие воссозданию идентичности территории.

4. Рекомендациями по реконструкции и дальнейшему развитию квартала являются:

- изучение градостроительной эволюции истории места и историко-культурной составляющей, которое дает знание о закономерностях развития городской застройки;
- выявленные историко-градостроительные особенности позволяют найти вектор для дальнейшего устойчивого развития пространства, определения ключевых функций и создания нового имиджа территории.

Список библиографических ссылок

1. Colavitti A. M., Serra S. Non financial compensation for the redevelopment of the historic urban landscape: the case study of Villasor in Sardinia (Italy) // City Territ Archit. 2020. Vol. 7. Iss. 15. P. 1–15. DOI: 10.1186/s40410-020-00124-9.
2. Ермолаев И. П., Мустафина Д. А. Документы по истории Казанского края из архивохранилищ Татарской АССР (вторая половина XVI — середина XVII в.) : тексты и коммент. / Коммент. Мустафиной Д. А. Казань : Изд-во Казан. ун-та, 1990. 204 с.
3. Дягилева Н. С. Теоретические аспекты городской идентичности: сб. ст. Брендинг малых и средних городов России: опыт, проблемы, перспективы / Уральский федеральный университет. Екатеринбург, 2014. С. 54–59.
4. Kolarevic B., Malkawi A. Performative architecture: beyond instrumentality. N.Y. : Spon Press, 2005. 576 p.
5. Иконников А. В. Утопическое мышление и архитектура. М. : Архитектура С, 2004. 400 с.
6. Mahgoub Y., Cavalagli N., Versaci A., Bougdah H., Serra-Permanye M. : Cities' identity through architecture and arts. Berlin : Springer, 2021. 238 p.
7. Mehanna W. A. E., Mehanna W. A. E. Urban renewal for traditional commercial streets at the historical centers of cities // Alexandria Engineering Journal. 2019. Vol. 58. Iss. 4. P. 1127–1143. DOI: 10.1016/j.aej.2019.09.015.
8. Кадыров Т. Э. Формирование общественных пространств в исторических центрах городов на примере г. Казани // Вестник ВГАСУ. 2019. Т. 76. Вып. 3. С. 196–207.

9. Краснова Т. В., Пермяков М. Б. Творческие подходы в формировании имиджа городской среды средствами архитектуры и дизайна // Современные наукоемкие технологии. 2019. Вып. 2. С. 89–93. DOI: 10.23670/IRJ.2021.103.1.025.
10. Gambassi R. Identity of modern architecture in historical city environments // Architecture and Engineering. 2016. Vol. 1. Iss. 2. P. 27–42. DOI: 10.23968/2500-0055-2016-1-2-27-42.
11. Ujma-Wasowicz K., Sulimowska-Ociepka A. Genius Loci – Examples of Changes of the Image of Post-industrial Areas in Poland in the Region of the Upper Silesian Conurbation // Advances in Human Factors. 2018. P. 53–63. DOI: 10.1007/978-3-319-60450-3_6.
12. Biddau G. M., Marotta A., Sanna G. Abandoned landscape project design // City Territ Archit. 2020. Vol. 7. Iss. 10. P. 1–17. DOI: 10.1186/s40410-020-00118-7.
13. План Казани 1768 г. // ЦГИАЛ, Ф. 1399. Оп. 1, ед. хр. 409, 2 л.
14. Бикбулатов Р., Мустафин Р. Казань и её слободы. Казань : Заман, 2016. 208 с.
15. Семенов О.В. О времени и обстоятельствах возникновения ямской гоньбы в русских землях // Известия УрФУ. 2016. Т. 18. Вып. 1. С. 103–119. DOI: 10.15826/izv2.2016.1.009.
16. Степанчук А. В., Гафурова С. В., Латыпова М. С. Дух места» как импульс ревитализации территории Адмиралтейской слободы города Казани // Архитектон: известия вузов. 2020. Вып. 4. DOI: 10.47055/1990-4126-20204(72)-6.
17. Айдарова-Волкова Г. Н. Сохраняя наследие, обновлять исторический центр Казани // Вестник Волжского регионального отделения Российской академии архитектуры и строительных наук. 2015. Вып. 17. С. 95–100.
18. Миниханов Ф. Г. Исторический центр Казани как объект культуры и туризма : сб. ст. Актуальные проблемы регионоведения и науковедения. Казань, 2019. С. 59–69.
19. Список с писцовой и межевой книги города Свияжска и уезда письма и межевания Никиты Васильевича Борисова и Дмитрия Андреевича Кикина (1565-1567 гг.). Казань: Тип. Имп. Ун-та, 1909 – XIII. 143 с.
20. Pittaluga P. Pioneering urban practices in transition spaces // City Territ Archit. 2020. Vol. 7. Iss. 18. P. 1–10. DOI: 10.1186/s40410-020-00127-6.
21. Линч К. Образ города. М. : Стройиздат, 1982. 328 с.

Zakharova Ekaterina Vladimirovna
architect
Email: ezva1226@gmail.com
LLC «Miriada group»
The organization address: 420030, Russia, Kazan, Moskovskaya st., 15
Dembich Alexander Alekseevich
candidate of architecture, associate professor
Email: interra.kgasu@mail.ru
Sayfutdinova Adelya Musayafovna
candidate of technical sciences, associate professor
Email: adelyasaif@rambler.ru
Kazan State University of Architecture and Engineering
The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

Reconstruction of the identity of the place during the implementation of urban reconstruction (on the example of the territory of the Yamskaya Sloboda, Kazan)

Abstract

Problem statement. The purpose of the study is to search for and determine the historical and cultural identity of a fragment of the historical center of the city of Kazan (Yamskaya Sloboda), by highlighting the lost functions and features of the environment, as well as further

developing recommendations for renovating the site in modern socio-economic and cultural conditions.

Results. Methods have been developed for the preservation, recreation and development of the historical and cultural identity of a fragment of the historical center of Kazan on the example of the territory of the Yamskaya Sloboda.

Conclusions. The significance of the results obtained for the construction industry and urban planning practice lies in the possibility of applying the revealed principles of organizing space within the framework of the reconstruction and integrated development of the territory of the Yamskaya Sloboda of the historical settlement of Kazan, taking into account the value and degree of preservation of its individual fragments.

Keywords: historical and cultural identity, preservation and tourist use of the architectural heritage, the spirit of the place, the urban development of historical settlements, the historical center.

For citation: Zakharova E. V., Dembich A. A., Sayfutdinova A. M. Reconstruction of the identity of the place during the implementation of urban reconstruction (on the example of the territory of the Yamskaya Sloboda, Kazan) // Izvestija KGASU. 2021. № 2 (56). P. 105–117. DOI: 10.52409/20731523_2021_2_105.

References

1. Colavitti A. M., Serra S. Non financial compensation for the redevelopment of the historic urban landscape: the case study of Villasor in Sardinia (Italy) // City Territ Archit. 2020. Vol. 7. Iss. 15. P. 1–15. DOI: 10.1186 / s40410-020-00124-9.
2. Ermolaev I. P., Mustafina D. A. Documents on the history of the Kazan Territory from the archives of the Tatar ASSR (second half of the 16-mid-17th century). texts and comments / Comment. Mustafina D. A. Kazan : Kazan University, 1990. 204 p.
3. Diaghileva N. S. Theoretical aspects of urban identity : dig. of art. Branding of small and medium-sized cities in Russia: experience, problems, prospects / Ural Federal University. Ekaterinburg, 2014. P. 54–59.
4. Kolarevic B., Malkawi A. Performative architecture: beyond instrumentality. N.Y. : Spon Press, 2005.576 p.
5. Ikonnikov A. V. Utopian thinking and architecture. M. : Architecture S, 2004. 400 p.
6. Mahgoub Y., Cavalagli N., Versaci A., Bougdah H., Serra-Permanye M. Cities' identity through architecture and arts. Berlin : Springer, 2021. 238 p.
7. Mehanna W. A. E., Mehanna W. A. E. Urban renewal for traditional commercial streets at the historical centers of cities // Alexandria Engineering Journal. 2019. Vol. 58. Iss. 4. P. 1127–1143. DOI: 10.1016 / j.aej.2019.09.015.
8. Kadyrov T. E. Formation of public spaces in historical centers of cities on the example of Kazan // Bulletin of VGASU. 2019. Vol. 76. Iss. 3. P. 196–207.
9. Krasnova T. V., Permyakov M. B. Creative approaches in the formation of the image of the urban environment by means of architecture and design // Modern science-intensive technologies. 2019. Iss. 2. P. 89–93. DOI: 10.23670/IRJ.2021.103.1.025.
10. Gambassi R. Identity of modern architecture in historical city environments // Architecture and Engineering. 2016. Vol. 1. Iss. 2. P. 27–42. DOI: 10.23968/2500-0055-2016-1-2-27-42.
11. Ujma-Wasowicz K., Sulimowska-Ociepka A. Genius Loci – Examples of Changes of the Image of Post-industrial Areas in Poland in the Region of the Upper Silesian Conurbation // Advances in Human Factors. 2018. P. 53–63. DOI: 10.1007 / 978-3-319-60450-3_6.
12. Biddau G. M., Marotta A., Sanna G. Abandoned landscape project design // City Territ Archit. 2020. Vol. 7. Iss. 10. P. 1–17. DOI: 10.1186/s40410-020-00118-7.
13. Plan of Kazan 1768 // TsGIAL, F. 1399. Op. 1, unit. xp. 409. 2 p.
14. Bikbulatov R., Mustafin R. Kazan and its settlements. Kazan : Zaman, 2016. 208 p.

15. Semenov O. V. On the time and circumstances of the emergence of the Yamskaya chase in Russian lands // Izvestiya UrFU. 2016. Vol. 18. Iss. 1. P. 103–119. DOI: 10.15826/izv2.2016.1.009.
16. Stepanchuk A. V., Gafurova S. V., Latypova M. S. Spirit of the place «as an impulse» to revitalize the territory of the Admiralteyskaya Sloboda of the city of Kazan // Architecton: Izvestiya vuzov. 2020. Iss. 4. DOI: 10.47055/1990-4126-20204 (72) -6.
17. Aidarova-Volkova G. N. Keeping the heritage, renewing the historical center of Kazan // Bulletin of the Volga regional branch of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences. 2015. Iss. 17. P. 95–100.
18. Minikhanov F. G. The historical center of Kazan as an object of culture and tourism : dig. of art. Actual problems of regional studies and science of science. Kazan, 2019. P. 59–69.
19. List from the scribe and land survey book of the city of Sviyazhsk and the district of writing and surveying Nikita Vasilyevich Borisov and Dmitry Andreevich Kikin (1565-1567). Kazan : Type. Imp. University, 1909-XIII. 143 p.
20. Pittaluga P. Pioneering urban practices in transition spaces // City Territ Archit. 2020. Vol. 7. Iss. 18. P. 1–10. DOI: 10.1186 / s40410-020-00127-6.
21. Lynch K. The image of the city. M. : Stroyizdat, 1982. 328 p.

УДК 711.4
Латыпова Таисия Андреевна
архитектор
Email: ahtasya@gmail.com
ООО «КРК Проект»
Адрес организации: 420012, Россия, г. Казань, ул. Чехова, д. 6г, оф. 9

Классификация открытых пространств городской активности (на примере городских площадей г. Казани)

Аннотация

Постановка задачи. Целью исследования является изучение пространства городской активности в сложившейся структуре города. Основными задачами исследования являются изучение и обобщение существующих теорий и концепций классификации городских пространств, анализ изучаемых городских площадей, с точки зрения специфики и количества происходящих на них функциональных процессов, и на основе аналитических данных, составления комплексной авторской классификации пространств городской активности.

Результаты. Были изучены, проанализированы существующие теории и концепции изучения городского пространства, выявлены современные мировые тенденции и подходы к классификации городских пространств, изучены и проанализированы три городские площади в г. Казани, составлена авторская классификация.

Выводы. Значимость полученных результатов для архитектуры и градостроительной науки состоит в том, что составленная классификация может быть использована в градостроительной практике на территориях новой застройки при внедрении пространств городской активности.

Ключевые слова: городское пространство, функциональный процесс, классификация, городская активность.

Для цитирования: Латыпова Т. А. Классификация открытых пространств городской активности (на примере городских площадей г. Казани) // Известия КГАСУ. 2021. № 2 (56). С. 118–126. DOI: 10.52409/20731523_2021_2_118.

1. Введение

Развитие социальной жизни крупных городов предполагает трансформацию городских пространств. Создание эффективно функционирующих пространств становится одним из определяющих факторов привлекательности и качества жизни городского района и, как следствие, самого города. В данной статье городские пространства рассмотрены с точки зрения происходящих в них функциональных процессов.

Базой для данного исследования стали научные разработки отечественных и зарубежных авторов. Автором первой научной работы, посвященной полностью публичным пространствам была Х. Арендт. Её книга «Vita activa или о деятельной жизни» раскрывает особенности, формы и характеристики городских публичных пространств [1]. Также стоит отметить коммуникационную теорию Ю. Хабермаса, в которой рассматриваются влияние массмедиа на общественную жизнь, тем самым создающее особую площадку для создания общественного мнения. Возникновение и исчезновение публичных пространств Ю. Хабермас изучает с политической точки зрения [2].

Р. Ольденбург в своей концепции «третьего места» детально классифицирует публичные городские территории. Первое место для человека – это дом, второе – работа, третье место часто выполняет рекреационную или развлекательную функцию. Такие места становятся значимыми точками неформальной публичной жизни. Чертами, характеризующими «третье место» являются: нейтральность, «уравнивающее пространство», доступность и размещение, дом вдали от дома, состояние психологического комфорта. Третье место может быть реальным (английский паб, французское кафе, американская таверна, главная улица, культурный центр и пр.) и виртуальным (интернет-сообщество) [3].

Стоит отметить работы британского социолога З. Баумана «Глобализация. Последствия для человека и общества», «Текучая современность». В них отражены изменения публичной жизни. З. Бауман выдвигает идею текучести и подвижности мира. Главный ее идея – изменение взаимосвязи между пространством и временем. Ценность времени в современном обществе возрастает [4]. Это способствует возникновению гибридных публичных пространств. Также современные общественные публичные пространства мобильны, способны к трансформации. Фактор времени позволяет расширить пространство, использовать его эффективнее. Вероятно, возможность быстро и удобно менять городскую среду под необходимые нужды, и есть основная тенденция развития общественных пространств.

Антонова А.А. в своей статье «Классификация публичных пространств в современной городской культуре» выделяет следующие типы публичных пространств:

– классические публичные пространства;

– переходные публичные пространства;

– неклассические публичные пространства.

К классическим публичным пространствам относятся площади, городские улицы, парки, набережные, кафе. Такие городские пространства по-прежнему остаются актуальными, создаются новые классические публичные пространства. Переходные публичные пространства объединяют в себе элементы публичной и частной сферы жизни людей. К неклассическим публичным пространствам относятся все новые формы общественных коммуникаций в современном городе (преимущественно культурной направленности): арт-кластеры, лофты, современные многофункциональные городские центры и арт-резиденции [5].

Олег Паченков, директор Центра независимых социологических исследований, СПб), выделяет пять типов общественных пространств, необходимых современному городу:

– социально-событийные – например, площади;

– культурно-досуговые – театры, кинотеатры и открытые пространства рядом с ними (которые также могут быть задействованы);

– зеленые рекреационные – парки и скверы;

– политические – такие, как Гайд-парк;

– обыденные – дворы, придомовые детские и спортивные площадки [6].

Баталина Т.С. в статье «Анализ особенностей формирования общественного пространства» подразделяет все общественные пространства на три типа, по их сформировавшейся градостроительной потребности:

1. Специально возведенные, предназначенные для конкретной функциональной задачи. Главная цель создания таких пространств – возможность реализации запланированной функции. К такому типу пространств можно отнести пляжи, спортивные стадионы, технологические площадки (от водоемов до автостоянок), участки для экспозиций.

2. Пространства, примыкающие к объемным сооружениям. Примерами подобных общественных пространств могут являться открытые территории административных зданий, дворы жилой застройки, территории комплексов и различных сооружений. Такие пространства могут не только выполнять распределительную или рекреационную функция, но и быть самостоятельным градостроительным элементом.

3. Многоцелевые объемно-пространственные образования, одной из причин их возникновения являются подобные градостроительные факторы: потребность в общественном ядре, необходимость сформированной сети коммуникаций различных городских учреждений и магазинов, сформированная монументальная застройка, с тесной связью между функцией площадки и организующих ее объемов. К данной категории можно отнести: улицы, бульвары, скверы и площади [7].

Также все городские пространства можно классифицировать в соответствии с их значением на местные, районные и городские. Для каждого уровня градостроительной значимости будет соответствующее планировочное и объемное решение.

Смешение различных видов деятельности внутри городского пространства является основой его успешного функционирования [8-10]. В статье Закировой Ю.А. выявлены основные функционально-планировочные и территориальные аспекты

трансформации городской среды разных по размеру моноцентрических городов Казанской агломерации. Одним из выделенных аспектов является изменение функционального назначения крупных (значимых) фрагментов городских территорий, в том числе из-за смешанного использования объектов и пространств, приоритетного развития сферы услуг и связанных с ними объектов и пространств [11].

Целью исследования является изучение пространства городской активности в сложившейся структуре города. Основными задачами исследования являются изучение и обобщение существующих теорий и концепций классификации городских пространств, анализ изучаемых городских площадей г. Казани, с точки зрения специфики и количества происходящих на них функциональных процессов, и на основе аналитических данных, составления комплексной авторской классификации пространств городской активности.

2. Материалы и методы

Методика исследования основана на общенаучных исследованиях, включающих сбор, обработку, систематизацию и анализ литературных и проектных источников. Типология пространств является одной из актуальных тем современного градостроительства. По отдельности элементы градостроительной структуры неоднократно являлись объектами исследования [12-15].

Автором проведен градостроительный анализ изучаемых городских площадей, который позволил изучить состав и количество единичных функциональных процессов, проходящих на городской территории, для дальнейшего сравнительного анализа и включения в систему классификации пространств городской активности.

Предлагаемая автором классификация учитывает изменения городских общественных пространств и основана на количестве функциональных процессов, проходящих на городской территории. Предполагается, что избыточность функциональных процессов формирует пространство городской активности. Как единичные социально значимые функциональные процессы выделены следующие виды деятельности:

– медицина;
– образование;
– культура;
– детские учреждения;
– торговля;
– спорт;
– досуг;
– красота/здоровье.

Рис. 1. Анализ функциональных процессов площади им. Г. Тукая (иллюстрация автора)

На аналитической схеме площади им. Г. Тукая (рис. 1) можно отметить многообразие единичных функциональных процессов. На исследуемой территории присутствуют объекты торговли, культуры, образования, досуга, медицины, красоты/здоровья, а также административные и офисные помещения, гостиницы, памятники и исторические объекты. Превалирующее большинство объектов, непосредственно окружающих площадь, имеют торговую или досуговую функцию.

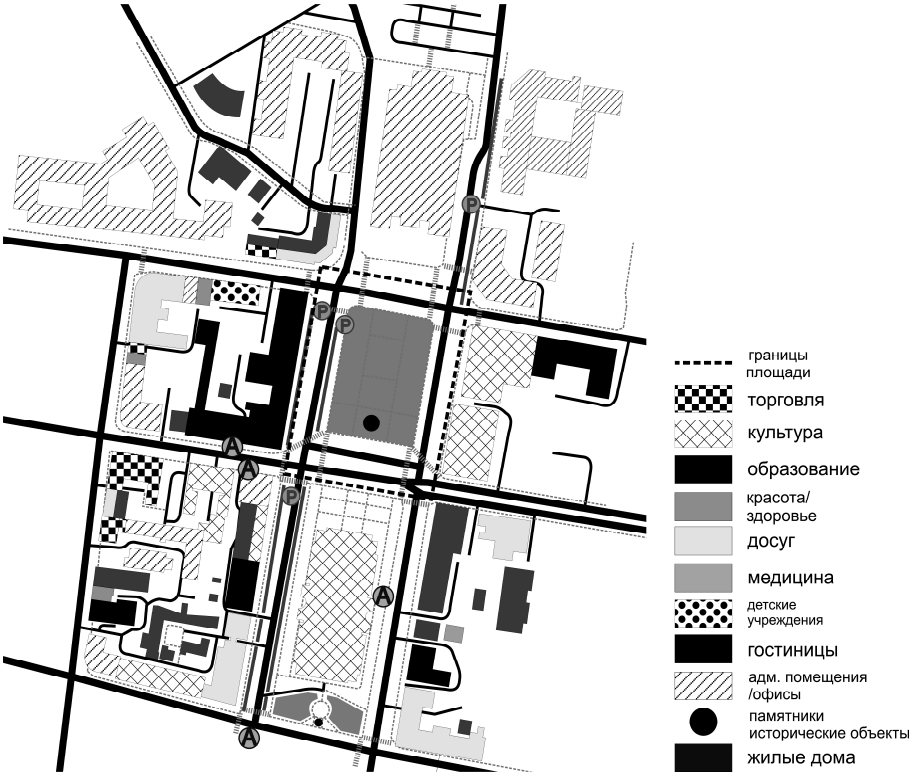


Рис. 2. Анализ функциональных процессов площади Свободы (иллюстрация автора)

Площадь Свободы – одна из значимых площадей Казани, расположенная в историческом центре города. Площадь ограничена улицами Пушкина, Театральная, Карла Маркса, но остановки общественного транспорта расположены только по улице Карла Маркса, поэтому через площадь не проходят интенсивные транзитные потоки. На аналитической схеме площади Свободы (рис. 2) явно заметно, что пространство площади сформировано преимущественно зданиями с административными, культурными и образовательными функциями. Площадь важна не только большим количеством архитектурных и исторических памятников, но и тем, что на ней расположены учреждения, играющие большую роль в жизни не только города, но и республики (Кабинет министров Республики Татарстан, Конституционный суд РТ, Министерство культуры РТ, Государственный Большой концертный зал им. С. Сайдашева, Казанская государственная консерватория имени Н.Г. Жиганова, Казанская Ратуша, Татарский академический государственный театр оперы и балета имени Мусы Джалиля).

Один из главных аспектов использования площади- проведение событийных мероприятий (парад в честь Дня Победы, различные прочие общественные мероприятия в дни праздников и фестивалей).

На аналитической схеме площади Свободы (рис.3) можно отметить более скудное количество функциональных процессов, преобладание жилых домов. Это связано с тем, что данная площадь несколько удалена от исторического центра города, она имеет статус районного значения и сформирована преимущественно жилыми домами, с обслуживающими функциями на первом этаже (торговля, досуг, красота/здоровье, медицина).

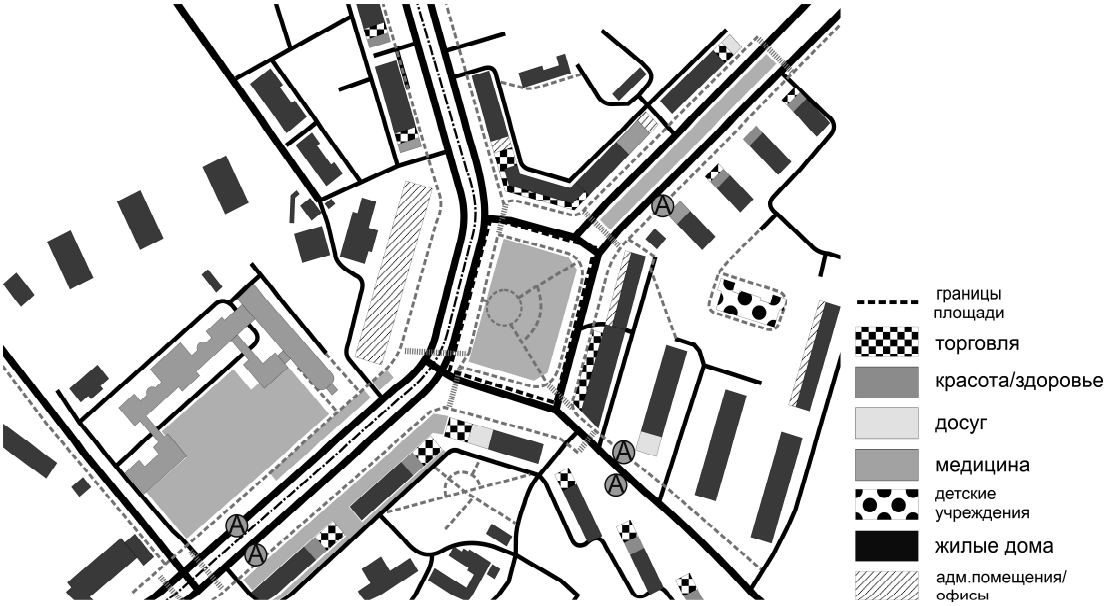


Рис. 3. Анализ функциональных процессов Советской площади (иллюстрация автора)

3. Результаты и обсуждение

Обобщая все изученные классификации пространств, сформирована таблица.

Таблица 1

Классификация пространств городской активности

по территориальному признаку			
локальные	центральные		периферийные
по виду процесса			
транзитные		стационарные	
по социальной функции			
частные	публичные		полупубличные
по форме			
точечные	линейные		дискретные
по элементам планировочной структуры			
двор	улица	перекресток	площадь
по времени использования			
повседневного использования	событийные		сезонные
по функциональному назначению			
коммуникация	передвижение		символическая
удовлетворение потребностей	обучающая, познавательная		осуществление деятельности
рекреационная	эстетическая		репрезентативная

В рамках исследования проанализированы три городские территории, включающие пространство площади в г. Казани. Критериями выбора стали: популярность этих городских пространств у горожан и туристов, наличие хорошо развитой транспортной инфраструктуры, разнообразие единичных функциональных процессов. Первая территория – площадь им. Г. Тукая, вторая – площадь Свободы, третья – Советская площадь.

По представленным выше схемам был произведен подсчет функциональных процессов на анализируемых территориях, аналитические данные представлены в табл. 2.

Результаты исследования показывают, что количество функциональных процессов на трех исследуемых городских площадях разное. В существующих классификациях городские пространства дифференцируются по различным параметрам, но авторы не учитывают количество функциональных процессов, происходящих на территории, как

показатель интенсивности их использования. То есть категория общественных пространств «городские площади» может включать в себя различные городские территории, некоторые из которых являются площадями только по архитектурно-пространственным параметрам, а не по насыщению функциональными процессами. В ходе анализа самое большое количество единичных функциональных процессов было выявлено на площади им. Г. Тукая, вторая по количеству функциональных процессов – площадь Свободы, третья – Советская площадь.

Таблица 2

Функциональные процессы на анализируемых территориях

	Анализируемые территории		
	площадь им. Г. Тукая	**площадь Свободы**	**Советская площадь**
вид деятельности	Кол-во ед.		
медицина	3	1	4
образование	5	3	0
культура	1	6	0
детские учреждения	0	1	1
торговля	12	4	14
спорт	0	0	0
досуг	10	6	3
красота/здоровье	2	3	8
административные учреждения/офисы	23	14	5
гостиницы	6	2	0
Итого функциональных процессов	62	40	35
Площадь территории, км^2	3,06	2,7	2,4
Количество функциональных процессов на 1 км^2 территории, ед.	20,2	14,8	14,5

Исходя из проведенного анализа все пространства городской активности предлагается разделить на:

- монофункциональные – с одним единичным функциональным процессом;
- полифункциональные – с несколькими единичными функциональными процессами.

Полифункциональные пространства городской активности в свою очередь предлагается ранжировать в соответствии с количеством единичных функциональных процессов на единицу площади:

– низкой плотности (от 5-15 единичных функциональных процессов на единицу площади);

– средней плотности (от 15-20 единичных функциональных процессов на единицу площади);

– высокой плотности (от 20 и выше единичных функциональных процессов на единицу площади).

В соответствии с выявленной классификацией площадь им. Г. Тукая центральная, транзитная, публичная, повседневного использования, дискретная, площадь с высокой плотностью единичных функциональных процессов, площадь Свободы центральная, стационарная, публичная, событийная, дискретная, площадь со средней плотностью единичных функциональных процессов, Советская площадь периферийная, стационарная, публичная, повседневного использования, точечная, площадь с низкой плотностью единичных функциональных процессов.

5. Заключение

1. В работе собраны и проанализированы существующие научные исследования по классификации общественных пространств отечественных и зарубежных авторов. На основе изученных материалов сформирована таблица, обобщающая все изученные классификации городских пространств. Были выявлены основные типологические

характеристики, такие как: территориальный признак, форма, социальная функция, элемент планировочной структуры, время использования, функциональное назначение.

2. Проанализированы с точки зрения количества единичных функциональных процессов территории трех городских площадей в г. Казани (площадь Тукая, площадь Свободы, Советская площадь). Наибольшая концентрация единичных функциональных процессов выявлена на площади Тукая, вторая по количеству функциональных процессов – площадь Свободы, третья – Советская площадь. Выявлено, что типологические характеристики пространств городской активности влияют на количество единичных функциональных процессов.

3. На основе результатов исследования составлена авторская классификация пространств городской активности, учитывающая взаимосвязь архитектурно-пространственной организации пространств городской активности и количества единичных функциональных процессов.

4. Составленная классификация позволяет произвести ранжирование пространств городской активности в структуре города, выделить типологические группы пространств городской активности, в дальнейшем определить методы и приемы их архитектурно-планировочной организации, чтобы сформировать общую стратегию формирования пространств городской активности на территориях новой застройки.

Список библиографических ссылок

1. Арендт Х. Vita activa, или О деятельной жизни. СПб. : Алетейя, 2000. 437 с.
2. Хабермас Ю. Структурное изменение публичной сферы : исследование относительно категории буржуазного общества. М. : Весь Мир, 2016. 344 с.
3. Ольденбург Р. Третье место: кафе, кофейни, книжные магазины, бары, салоны красоты и другие места «тусовок» как фундамент сообщества. М. : Новое литературное обозрение, 2014. 456 с.
4. Бауман З. Текучая современность. СПб. : Питер, 2008. 240 с.
5. Антонова А. А. Классификация публичных пространств в современной городской культуре // Урбанистика. 2017. Вып. 3. С. 74–80. DOI: 10.7256/2310-8673.2017.3.24020.
6. Паченков О. Публичное пространство города перед лицом вызовов современности // НЛО. 2012. Вып. 117. С. 419–439.
7. Баталина Т. С. Анализ особенностей формирования общественного пространства // Бизнес и дизайн ревю. 2017. Вып. 1 (5). С. 11.
8. Jingwen Cao, Jian Kang. Social relationships and patterns of use in urban public spaces in China and the United Kingdom // Cities. 2019. Vol. 93. P. 188–196. DOI: 10.1016/j.cities.2019.05.003.
9. Khalid Mandeli. Public space and the challenge of urban transformation in cities of emerging economies: Jeddah case study // Cities. Vol. 95. DOI: 10.1016/j.cities.2019.102409.
10. Vikas Mehta, Jennifer K. Bosson. Revisiting Lively Streets: Social Interactions in Public Space // Journal of Planning Education and Research. 2018. Vol. 41. P. 160–172. DOI: 10.1177/0739456X18781453.
11. Zakirova Yu. A., Khusnutdinova S. R., Faizrakhmanova G. R. Transformation of the city environment: functional-planning and territorial aspects // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 753. P. 042069. DOI: 10.1088/1757-899X/753/4/042069.
12. Sungduck Lee. Understanding the context of neighborhood parks: a method for public space classification // Journal of Urbanism: International Research on Placemaking and Urban Sustainability. 2019. Vol. 12. P. 103–127. DOI: 10.1080/17549175.2018.1531905.
13. Francesco Rossini, Melody Hoi-lam Yiu. Public open spaces in private developments in Hong Kong: new spaces for social activities? // Journal of Urbanism: International Research on Placemaking and Urban Sustainability. 2020 DOI: 10.1080/17549175.2020.1793803.

14. Song Liu, Si-Qi Lai, Chao Liu, Li Jiang. What influenced the vitality of the waterfront open space? A case study of Huangpu River in Shanghai, China // Cities. 2021. Vol. 114. DOI: 10.1016/j.cities.2021.103197.
15. Цыбайкин А. А. Методы реконструкции периферийных городских площадей в зоне выходов из станций метро // Architecture and Modern Information Technologies. 2020. Вып. № 2 (51). С. 116–126. DOI: 10.24411/1998-4839-2020-15108.

Latypova Taisiya Andreevna
architect
Email: ahtasya@gmail.com
LLC «KRK Project»
The organization address: 420012, Russia, Kazan, Chekhov st., 6g, off. 9.

Classification of open spaces of urban activity (on the example of urban squares in Kazan)

Abstract

Problem statement. The purpose of the study is to create the author's classification of open spaces of urban activity.

Results. Existing theories and concepts about urban space were studied and analyzed, revealed modern global trends and approaches to the urban spaces' classification, three city squares in Kazan were studied and analyzed, compiled the author's classification.

Conclusions. The significance of the results for architecture and urban planning is that the compiled classification can be used in urban planning practice in the territories of new buildings when introducing spaces of urban activity.

Keywords: urban space, functional process, classification, urban activity.

For citation: Latypova T. A. Classification of open spaces of urban activity (on the example of urban squares in Kazan) // Izvestija KGASU. 2021. № 2 (56). P. 118–126. DOI: 10.52409/20731523_2021_2_118.

References

1. Arendt H. Vita activa, or On active life. SPb. : Aleteya, 2000. 437 p.
2. Habermas J. Structural change in the public sphere: research on the category of bourgeois society. M. : Ves Mir, 2016.344 p.
3. Oldenburg, R. The Great Good Place: Cafes, Coffee Shops, Bookstores, Bars, Hair Salons, and Other Hangouts at the Heart of a Community. M. : Novoe Literaturnoe Obozrenie, 2014. 456 p.
4. Bauman Z. Liquid modernity. SPb. : Piter, 2008. 240 p.
5. Antonova A. A. Classification of public spaces in modern urban culture // Urbanistica. 2017. Vol. 3. P. 74–80. DOI: 10.7256/2310-8673.2017.3.24020.
6. Pachenkov O. Public space of the city in the face of modern challenges // NLO. 2012. Vol. 117. P. 419–439.
7. Batalina T. S. Analysis of the Features of the Formation of Public Space // Business and Design Review. 2017. Vol. 1 (5). P. 11.
8. Jingwen Cao, Jian Kang. Social relationships and patterns of use in urban public spaces in China and the United Kingdom // Cities. 2019. Vol. 93. P. 188–196. DOI: 10.1016/j.cities.2019.05.003.
9. Khalid Mandeli. Public space and the challenge of urban transformation in cities of emerging economies: Jeddah case study // Cities. Vol. 95. DOI: 10.1016/j.cities.2019.102409.
10. Vikas Mehta, Jennifer K. Bosson. Revisiting Lively Streets: Social Interactions in Public Space // Journal of Planning Education and Research. 2018. Vol. 41. P. 160–172. DOI: 10.1177/0739456X18781453.

11. Zakirova Yu. A., Khusnutdinova S. R., Faizrakhmanova G. R. Transformation of the city environment: functional-planning and territorial aspects // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 753. Iss. 042069. DOI: 10.1088/1757-899X/753/4/042069.
12. Sungduck Lee. Understanding the context of neighborhood parks: a method for public space classification // Journal of Urbanism: International Research on Placemaking and Urban Sustainability. 2019. Vol. 12. P. 103–127. DOI: 10.1080/17549175.2018.1531905.
13. Francesco Rossini, Melody Hoi-lam Yiu. Public open spaces in private developments in Hong Kong: new spaces for social activities? // Journal of Urbanism: International Research on Placemaking and Urban Sustainability. 2020. DOI: 10.1080/17549175. 2020.1793803.
14. Song Liu, Si-Qi Lai, Chao Liu, Li Jiang. What influenced the vitality of the waterfront open space? A case study of Huangpu River in Shanghai, China // Cities. 2021. Vol. 114. DOI: 10.1016/j.cities.2021.103197.
15. Tsybaikin A. A. Methods for the reconstruction of peripheral urban squares in the area of exits from metro stations // Architecture and Modern Information Technologies. 2020. № 2 (51). P. 116–126. DOI: 10.24411/1998-4839-2020-15108.

УДК 725.53
Акатьева Анна Олеговна
кандидат архитектуры, доцент
Email: akatyeva@gmail.com
Казанский государственный архитектурно-строительный университет
Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1
Хабиров Роберт Ильшатович
архитектор
Email: rob.khabirov@gmail.com
ГУП «Татинвестгражданпроект»
Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Чехова, д. 28

Современные тенденции и принципы архитектурной организации центров паллиативной помощи

Аннотация

Постановка задачи. Цель исследования – выявление основных тенденций и принципов архитектурной организации современных центров паллиативной помощи. В работе решаются следующие задачи: выявляются тенденции и специфика архитектурно-планировочных и функциональных решений, формируются и практически апробируются архитектурные принципы их организации. Для решения задач произведен анализ современной отечественной и зарубежной практики архитектурного проектирования и строительства хосписов; анализ теоретических работ и обзорных статей.

Результаты. Исследованием выявлены следующие тенденции в архитектурном проектировании и организации хосписов: гуманизация комплекса хосписа, в том числе, обеспечение совместного пребывания пациента с родными и близкими, формирования комфортной среды для общения и изоляции, внимание к эстетическому окружению и эмоциональному воздействию среды; формирование домашней обстановки; пространственная ясность; универсальный дизайн; включение в комплекс пространств для социальной и духовно-религиозной поддержки. В работе сформулированы принципы архитектурной и пространственной организации хосписов: пространственная ясность и связанность; создание целостной и универсальной среды; разнообразие сценариев организации пространств и процессов; открытость и мобильность; приоритет домашней обстановки; интеграция пространств для социальной и духовной поддержки. Принципы применены авторами при проектировании нового стационара взрослого хосписа в г. Казани.

Выводы. Значимость полученных результатов для архитектуры состоит в формировании универсальных принципов архитектурно-планировочной и функциональной организации центра паллиативной помощи. Результаты исследования составят базу при формировании технических заданий, проектирования и строительства хосписов.

Ключевые слова: паллиативная помощь, хоспис, доступная среда, медицинский центр, архитектурные принципы, гуманизация архитектурной среды.

Для цитирования: Акатьева А. О., Хабиров Р. И. Современные тенденции и принципы архитектурной организации центров паллиативной помощи // Известия КГАСУ. 2021. № 2 (56). С. 127–136. DOI: 10.52409/20731523_2021_2_127.

1. Введение

В данной статье объектом рассмотрения является хоспис как центр оказания комплексной помощи пациентам с тяжелыми формами неизлечимых заболеваний. В рамках современной концепции паллиативной помощи пациентам должна быть оказана поддержка в 4 базовых аспектах: медицинская помощь (в особенности, в вопросах обезболивания онкологических пациентов), решение психологических, социальных или духовных проблем пациентов. На ряду с перечисленными аспектами паллиативной помощи все большее значение в формировании современного хосписа приобретает организация предметно-пространственной среды и ее эстетической составляющей. Идеи доказательного

дизайна, паллиативной архитектуры активно развиваются за рубежом и прослеживаются в ряде исследований авторов C. Alvaro, D.C. Anderson [1], C.C. Andrade, A. Coburn, A. Eijkelenboom [2], M. Giesbrecht [3], D.H. Grossoehme [4], S. Jamshidi [5], D. Martin [6], S. Nettleton, J. Olenderek, A.T. Paraskevopoulou, D. Pati, A.H. Sadek, C. Tishelman [7], R.S. Zadeh.

Отечественная научно-исследовательская база, раскрывающая специфику оказания паллиативной помощи, представлена работами А.Г. Агамова, Р.Г. Артамонова, С.А. Бухвалова, Г.А. Новикова, Ж.Д. Семидоцкой [8], Н.В. Эккерт и др. Данные исследования оказали влияние на анализ и формирование социально-психологических принципов организации центров паллиативной помощи, представленных в работе.

При формировании принципов были учтены рекомендации по проектированию медицинских, лечебно-профилактических учреждений, центров оказания паллиативной, а именно работы А.Р. Гайдук, А.Л. Гельфонд, А.А. Дембича, Л.Ф. Закиевой, В.В. Миллионщиковой, Ю.В. Панфиловой, В.Г. Савельева, Л.А. Цветковой. Особенности формирования среды в медицинских учреждениях, оказывающих помощь людям с ограниченными возможностями изучены в работах А.Ю. Барковской [9], М. Вильковского, Р. Вишера, Н.В. Каспер, С.Г. Коротковой [10].

С практической точки зрения большинство центров паллиативной помощи в России являются частной инициативой и находятся на самообеспечении [11], имеют свои преимущества в свободе архитектурно-планировочных решений и одновременно, сталкиваются с проблемой отсутствия научно и практически-обоснованных проектных принципов. Их внешние облики и архитектурно-планировочная организация требуют видоизменения, модернизации и внедрения новых технологий [11]. Метод простого механического копирования западных аналогов важен, но имеет ограничения и не исчерпывает все возможности, поэтому важно выявление наиболее устойчивых тенденций и формирование универсальных принципов, а также учет особенностей нашей страны. Так, предметом исследования являются тенденции в организации хосписов; целью – выявление принципов архитектурной организации центров паллиативной помощи (хосписов). Для достижения поставленной цели в исследовании решается ряд задач: анализируется опыт проектирования центров паллиативной помощи, выявляется специфика архитектурно-планировочных и функциональных решений, формулируются основные тенденции архитектурной организации.

2. Материалы и методы

В основу работы положен комплексный научный подход, включающий анализ современного теоретического и практического опыта организации хосписов и центров паллиативной помощи, критический анализ и натурное обследование. Данное исследование разрабатывалось в рамках магистерской диссертации Хабирова Р.И. (кафедра теории и практики архитектуры, КГАСУ).

Теоретическая база исследования включает в себя научно-исследовательские работы по паллиативной медицине и онкологии, оказанию паллиативной помощи, в том числе, по оказанию педиатрической паллиативной помощи и психологическим особенностям неизлечимо больных детей; рекомендации по проектированию медицинских, лечебно-профилактических учреждений, центров оказания паллиативной помощи, работы по особенностям формирования среды в медицинских учреждениях, оказывающих помощь людям с ограниченными возможностями, аспекты формирования среды медицинских учреждений, оказывающих социальную и паллиативную поддержку людям. Практическая база включила в себя анализ 25 проектов и объектов, а также авторский проектный опыт проектирования объектов медицины, в том числе, концептуального и эскизного проектирования стационара хосписа по ул. Баталовых и концепта реконструкции хосписа по ул. Королева в г. Казани (с участием авторов статьи в отделе дизайна и архитектуры ГУП «Татинвестгражданпроект» в 2018-2020 гг.).

Метод критического анализа основывается на результатах анализа теоретического и практического опыта; указывает на существующие проблемы в организации центров паллиативной помощи.

В качестве объекта натурного обследования было выбрано некоммерческое учреждение «Казанский хоспис». В рамках метода был произведен визуальный осмотр объекта и прилегающей территории, опрос пациентов и персонала учреждения.

3. Результаты

На основе проведенного комплексного анализа были выявлены тенденции в организации центров паллиативной помощи, с учетом которых были сформулированы архитектурно-планировочные принципы. В табл. 1 «Обзор тенденций и специфики организации центров паллиативной помощи» представлен перечень выявленных тенденций, их описание, а также анализ практического опыта, отображающий применение той или иной тенденции при проектировании и строительстве.

Анализ основных тенденций позволяет сформировать наиболее актуальные архитектурно-планировочные принципы, в совокупности представляющие собой универсальную модель центра паллиативной помощи. Обзор выявленных принципов представлен в табл. 2.

Таблица 1

Обзор тенденций и специфики организации центров паллиативной помощи

Тенденция	Описание	Примеры реализации	
		зарубежные	отечественные
Гуманизация в отношении к пациенту	совместное пребывание с близкими	Hospice in Witten (Krampe-Schmidt Architekten BDA, Германия), Assisi Hospice (New Space Architects, Сингапур)	Детский хоспис «Дом с маяком» (IND Architects, Москва)
	учет стремления больных к общению и изоляции	Urban Hospice (NORD Architects, Дания), Kirkwood Hospice (IBI Group, Англия)	Проект-реставрация «Усадьба Измалково («Рождественка», Москва), Хоспис в Колпино (Semrén & Månsson, Санкт-Петербург)
	потребности в эстетическом окружении	Teleton Infant Oncology Clinic (Sordo Madaleno Arquitectos, Мексика), Søndergård Hospice (Henning Larsen Architects, Дания)	Детский хоспис «Дом с маяком» (IND Architects, Москва)
	потребность в эмоциях	Princess Maxima Centre for Child Oncology (LIAG architects, Нидерланды)	Проект-реставрация «Усадьба Измалково («Рождественка», Москва)
Формирование домашней обстановки	приближенность здания по композиции и внешнему облику к коттеджному типу (индивидуальному жилью); палат – к домашним комнатам;	Hummingbird House (ThomsonAdsett, Австралия), St David's Hospice (KKE Architects, Великобритания)	Проект детского хосписа (Kleinewelt Architekten, Москва), Проект-реставрация «Усадьба Измалково («Рождественка», Москва)
	организация пространств внутри палат для размещения личных вещей (полки, тумбы, шкафы, стеллажи и др.)	Hospice in Witten (Krampe-Schmidt Architekten BDA, Германия), St David's Hospice (KKE Architects, Великобритания)	Детский хоспис «Дом с маяком» (IND Architects, Москва), Проект-реставрация «Усадьба Измалково» («Рождественка», Москва)

Продолжение таблицы 1

Пространственная ясность	простота и компактность архитектурных объемов, кратчайшие связи между внутрибольничными пространствами и внешней средой, малая этажность общего объема, возможность самостоятельного ориентирования	Urban Hospice (NORD Architects, Дания), Søndergård Hospice (Henning Larsen Architects, Дания), St David's Hospice (KKE Architects, Великобритания)	Хоспис в Колпино (Semrén & Månsson, Санкт-Петербург)
Универсальный дизайн	учитываются физические особенности больного, стадию его заболевания, антропометрические особенности пациента, перемещающегося с помощью кресла-коляски или медицинской каталки	активное применение в зарубежной архитектурной практике (соблюдено во всех рассматриваемых объектах)	Детский хоспис «Дом с маяком» (IND Architects, Москва)
Социальная и духовно-религиозная поддержка	духовно-религиозная работа с пациентом (проведение служений, таинств, бесед и др.), поддержка близких и оказание ритуальных услуг, работа специалистов (психолог, социальный работник, волонтер и др.) с пациентами, родственниками, медицинским персоналом	Teleton Infant Oncology Clinic (Sordo Madaleno Arquitectos, Мексика), Olivia Newton-John Cancer and Wellness Centre (Jackson Architecture, McConnell Smith Johnson, Австралия)	Хоспис на 60 мест (ГУП «ТИГП», Казань)

Таблица 2

Обзор принципов организации центров паллиативной помощи

№	Принцип	Описание
1	Пространственная ясность и связанность	- организация понятных маршрутов для персонала, пациентов и посетителей (логичная организация пешеходной и транспортной сети, разделение зон для посетителей и технического обслуживания, выделение зоны ритуальных услуг); - ансамблевый подход в формообразовании (возможность самостоятельного ориентирования); - целостность решения отдельных блоков как единой среды, ориентированной на пациента.
2	Создание целостной универсальной среды	- применение принципов универсального дизайна; - учет потребностей разных групп потребителей (для хосписа – пациента, ухаживающие, посетители, сотрудники и волонтеры); -учет потребностей маломобильных пациентов (транспортировка на коляске или медицинской каталке).
3	Разнообразие сценариев организации пространств и процессов	- организация пространств с разной степенью приватности (1-2-3-местные палаты, кухни пространства для проведения общественных мероприятий); - вариативность использования пространств.

Продолжение таблицы 2

4	Открытость и мобильность	- приспособленность центра к смене состава пациентов, внедрению новых элементов социальной, медицинской и духовной поддержки; - наличие резерва площадей и мобильность существующих пространств.
5	Приоритет домашней обстановки	- организация среды с элементами домашней обстановки (дизайн, цветовые и стилистические решения).
6	Интеграция пространств психологической и духовной помощи	- включение в состав помещений духовных центров (храмов, молитвенных и ритуальных комнат); - внедрение пространств, внушающих людям умиротворение и напоминающих о непреходящих ценностях (связь с природным окружением, искусственной средой с эстетической и эргономической составляющей).

4. Обсуждение

Комплексным анализом исследования подчеркивается роль архитектора в организации современного хосписа; его влияние на формирование терапевтической среды. Значимость организации «исцеляющего» пространства для физического и психического благополучия пациента подтверждается многочисленными исследованиями, активно разрабатываемыми еще с конца XX века. Ряд таких исследований (The Theory of Affordance (Gibson, 2014), Biophilic design (Kellert, 2008), Environmental Enrichment (Janssen et al., 2014), Attention Restoration Theory (Kaplan and Kaplan, 1989), and Restorative Environmental Design (Derr and Kellert, 2013) упоминается Ahmed H. Sadek и Julie Willis в работе, посвященной способам использования архитектурной среды онкологических учреждений для комплексной поддержки пациентов [12, 13]. Выявленные в рамках исследования тенденции и принципы направлены на формирование такой среды; опираются на научно-исследовательские труды отечественных и зарубежных авторов.

Так, принцип пространственной ясности как один из наиболее важных для комфорта пациента принципов отмечается в работе Alexander Coburn, Oshin Vartanian, Yoed N. Kenett, Marcos Nadal и др. [14], посвященной психологическим и нейронным реакциям на архитектурные интерьеры. Значение оформления интерьера в формировании логики пространства подчеркнуто в работе Л.Р. Садыковой, И.И. Ахтямова, Р.Х. Ахтямовой [15]. Авторы предлагают использовать цветовые акценты на путях движения человека в пространстве для обеспечения ориентации в здании, организации системы навигации.

Учет стремлений больных к общению и изоляции в рамках принципа разнообразия сценариев организации пространств и процессов обсуждается в исследовании Ahmed H. Sadek и Julie Willis [12]. Авторы в своей статье отмечают необходимость организации палат различной вместимости. Данное утверждение подкрепляется их исследовательской работой, в рамках которой были проанализированы медицинские учреждения на предмет пригодности среды для больных, проведены анкетирования и опросы пациентов. Со слов пациента (анонимно), участвующего в исследовании: «Being here you meet a lot of other people in similar circumstances, and that takes your mind off things…. just imagine if I was in this room all alone, then I could spend the whole day lying here feeling sorry for myself» (пер.: Находясь здесь, вы встречаетесь с множеством других людей, находящихся в схожих обстоятельствах, и это отвлекает вас от всего… только представьте, если бы я был в этой комнате совсем один, я бы мог провести здесь целый день, жалея себя»).

Принципы внедрения «домашнего уюта», расширения возможностей для социального взаимодействия, заложении пространств для вдохновляющей деятельности (индивидуальной и групповой), организации совместного пребывания с близкими, посещений с их стороны выделены как основополагающие в исследовании C. Alvaro, A.J. Wilkinson, S.N. Gallant, D. Kostovski, P. Gardner. [16].

Влияние среды на состояние человека подтверждается психологическими исследованиями, в рамках которых проводились различные опросы, тестирования, медицинские манипуляции. В ходе многоаспектного исследования, проводимого C.C. Andrade, A.S. Devlin, C.R. Pereira, M.L. Lima. были проанализированы 5 стационаров, в рамках которых были оценены 57 больничных палат с точки зрения особенностей дизайна и среды, проведен опрос 187 пациентов [17]. Так были выявлены 3 наиболее важных для комфорта пациента принципа: пространственная понятность, формирование домашней обстановки, многообразие состава помещений.

В целом, данная работа продолжает и обобщает описанные исследования, отмечает важность гуманного и тактичного подхода к паллиативной помощи, необходимость создания цельной и гармоничной среды для поддержки тяжелобольных людей.

5. Заключение

1. В архитектурно-планировочной и функциональной организации хосписов наиболее характерна выражена тенденция оказания комплексной помощи, которая имеет 4 базовых аспекта: медицинская, социальная, психологическая и духовная поддержка. Это определяет выраженную пациент-ориентированную направленность центров паллиативной помощи и разнообразие архитектурно-планировочных решений по сравнению с медицинскими учреждениями.

2. Среди основных тенденций в архитектурном проектировании и организации хосписов выявлены: гуманизация комплекса хосписа, в том числе, обеспечение совместного пребывания пациента с родными и близкими, формирования комфортной среды для общения и изоляции, внимание к эстетическому окружению и эмоциональному воздействию среды; формирование домашней обстановки; пространственная ясность; универсальный дизайн; включение в комплекс пространств для социальной и духовно-религиозной поддержки.

3. С учетом современных тенденций были сформулированы следующие принципы архитектурной и пространственной организации хосписов: пространственная ясность и связанность; создание целостной и универсальной среды; разнообразие сценариев организации пространств и процессов; открытость и мобильность; приоритет домашней обстановки; интеграция пространств для социальной и духовной поддержки.

4. Принципы, разработанные в данном исследовании, применены авторами в составе ОДА ГУП «Татинвестгражданпроект» при проектировании нового стационара взрослого хосписа в г. Казани (объект в процессе строительства).

Благодарности. Авторы выражают благодарность директору благотворительного фонда им. Анжелы Вавиловой В.В. Вавилову; сотрудникам и пациентам Казанского хосписа, принявшим участие в опросе; разработчикам проекта казанского хосписа – сотрудникам отдела дизайна и архитектуры (ОДА) ГУП «Татинвестгражданпроект», заслуженному архитектору Республики Татарстан Е.С. Евсееву за помощь и участие в разработке данного исследования.

Список библиографических ссылок

1. Anderson D. C., Pang S. A., O'Neill D., Edelstein E. A. The convergence of architectural design and health // The Lancet. 2018. Vol. 392. P. 2432–2433. DOI: 10.1016/S0140-6736(18)33009-5.
2. Eijkelenboom A., Verbeek H., Felix E., Hoof J. Architectural factors influencing the sense of home in nursing homes: An operationalization for practice // Frontiers of Architectural Research. 2017. Vol. 6. P. 111–122. DOI: 10.1016/j.foar.2017.02.004.
3. Giesbrecht M., Stajduhar K. I., Mollison A., Pauly B., Reimer-Kirkham S., McNeil R., Wallace B., Dosani N., Rose C. Hospitals, clinics, and palliative care units: Place-based

experiences of formal healthcare settings by people experiencing structural vulnerability at the end-of-life // Health & Place. 2018. Vol. 53. P. 43–51. DOI: 10.1016/ j.healthplace.2018.06.005.
4. Grossoehme D. H., Humphrey L., Friebert S., Ding L., Yang G., Allmendinger-Goertz K., Fryda Z., Fosselman D., Thienprayoon R. Patterns of Hospice and Home-Based Palliative Care in Children: An Ohio Pediatric Palliative Care and End-of Life Network Study // The Journal of Pediatrics. 2020. Vol. 225. P. 152–156. DOI: 10.1016/j.jpeds.2020.04.004.
5. Jamshidi S., Parker J. S., Hashemi S. The effects of environmental factors on the patient outcomes in hospital environments: A review of literature // Frontiers of Architectural Research. 2020. Vol. 9. P. 249–263. DOI: 10.1016/j.foar.2019.10.001.
6. Martin D., Nettleton S., Buse C. Affecting care: Maggie's Centres and the orchestration of architectural atmospheres // Social Science & Medicine. 2019. Vol. 240. P. 112563. DOI: 10.1016/j.socscimed.2019.112563.
7. Tishelman C., Lindqvist O., Hajdarevic S., Rasmussen B. H., Goliath I. Beyond the visual and verbal: Using participant-produced photographs in research on the surroundings for care at the end-of-life // Social Science & Medicine. 2016. Vol. 168. P. 120–129. DOI: 10.1016/j.socscimed.2016.09.012.
8. Семидоцкая Ж. Д., Чернякова И. А., Неффа М. Ю., Кармазина И. С. Духовно-нравственные аспекты неизлечимой болезни // Медицина неотложных состояний. 2018. № 1 (88). С. 26–29. DOI: 10.22141/2224-0586.1.88.2018.124965.
9. Барковская А. Ю., Шагиева Е. В. Социокультурные особенности формирования архитектурного пространства для медицинской деятельности для детей с различными заболеваниями // European research. 2016. № 12 (23). С. 114–119.
10. Короткова С. Г. Проектирование универсальной среды с использованием специальных средств доступности для маломобильных людей // Architecture and Modern Information Technologies. 2020. № 1 (50). С. 154–164. DOI: 10.24411/1998-4839-2020-15010.
11. Панфилова Ю. В. Особенности архитектурной организации зданий хосписов (на примере промышленного региона) // Проблемы науки. 2017. № 8 (21). С. 44–46.
12. Sadek A. H., Willis J. Ways to harness the built environment of ambulatory cancer facilities for comprehensive patient support: A review of the literature // International Journal of Nursing Studies. 2020. Vol. 101. 103356. DOI: 10/1016/j.ijnurstu.2019.05.004.
13. Sadek A. H., Willis J. Are we measuring what we ought to measure? A review of tools assessing patient perception of the healthcare-built environment and their suitability for oncology spaces // Journal of Environmental Psychology. 2020. Vol. 71. P. 11–21. DOI: 10.1016/j.jenvp.2020.101486.
14. Coburn A., Vartanian O., Kenett Y. N., Nadal M., Hartung F., Hayn-Leichsenring G., Navarrete G., González-Mora J. L., Chatterjee A. Psychological and neural responses to architectural interiors // Cortex. 2020. Vol. 126. P. 217–241. DOI: 10.1016/ j.cortex.2020.01.009.
15. Садыкова Л. Р., Ахтямов И. И., Ахтямова Р. Х. Архитектурные принципы организации сенсорно-стимулирующих пространств дошкольных учреждений // Architecture and Modern Information Technologies. 2021. № 2 (55). С. 320–336. DOI: 10.24412/1998-4839-2021-2-320-336.
16. Alvaro C., Wilkinson A. J., Gallant S. N., Kostovski D., Gardner P. Evaluating Intention and Effect: The Impact of Healthcare Facility Design on Patient and Staff Well-Being // Health Environments Research and Design Journal. 2016. Vol. 9. P. 82–104. DOI: 10.1177/1937586715605779.
17. Andrade C. C., Devlin A. S., Pereira C. R., Lima M. L. Do the hospital rooms make a difference for patients' stress? A multilevel analysis of the role of perceived control, positive distraction, and social support // Journal of Environmental Psychology. 2017. Vol. 53. P. 63–72. DOI: 10.1016/j.jenvp.2017.06.008.

Akatyeva Anna Olegovna
candidate of architecture, associate professor
Email: akatyeva@gmail.com
Kazan State University of Architecture and Engineering
The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1
Khabirov Robert Ilshatovich
architect
Email: rob.khabirov@gmail.com
SUE «Tatinvestgrazhdanproekt»
The organization address: 420043, Russia, Kazan, Chekhova st., 28

Modern trends and principles of the architectural organization of palliative care centers

Abstract

Problem statement. The aim of the study is to identify the main trends and principles of the architectural organization of modern palliative care centers. The research objectives are: define tendencies and specificity of architectural planning and functional solutions in hospices, formulate and practically apply architectural principles of their organization. To solve the problems, the analysis of modern domestic and foreign practice of architectural design and construction of hospices was carried out; as well as, analysis of theoretical works and review articles.

Results. The following trends in the architectural design and organization of hospices were revealed: the humanization of the hospice complex, including ensuring the patient's stay with relatives and friends, the formation of a comfortable environment for communication and isolation, attention to the aesthetic environment and the emotional impact of the environment; the formation of a home environment; spatial clarity; universal design; inclusion in the complex of spaces for social, spiritual and religious support. The work formulates the principles of the architectural and spatial organization of hospices: spatial clarity and coherence; creation of a holistic and universal environment; a variety of scenarios for organizing spaces and processes; openness and mobility; the priority of the home environment; integration of spaces for social and spiritual support. The principles were applied by the authors in the new adult hospice in Kazan.

Conclusions. The significance of the results obtained for architecture lies in the formation of universal principles of the architectural, planning and functional organization of the palliative care center. The results of the study will form the basis for the formation of technical specifications, design and construction of hospices.

Keywords: palliative care, hospice, accessible environment, medical center, architectural principles, humanization of the architectural environment.

For citation: Akatyeva A. O., Khabirov R. I. Modern trends and principles of the architectural organization of palliative care centers // Izvestija KGASU. 2021. № 2 (56). P. 127–136. DOI: 10.52409/20731523_2021_2_127.

References

1. Anderson D. C., Pang S. A., O'Neill D., Edelstein E. A. The convergence of architectural design and health // The Lancet. 2018. Vol. 392. P. 2432–2433. DOI: 10.1016/S0140-6736(18)33009-5.

2. Eijkelenboom A., Verbeek H., Felix E., Hoof J. Architectural factors influencing the sense of home in nursing homes: An operationalization for practice // Frontiers of Architectural Research. 2017. Vol. 6. P. 111–122. DOI: 10.1016/j.foar.2017.02.004.
3. Giesbrecht M., Stajduhar K. I., Mollison A., Pauly B., Reimer-Kirkham S., McNeil R., Wallace B., Dosani N., Rose C. Hospitals, clinics, and palliative care units: Place-based experiences of formal healthcare settings by people experiencing structural vulnerability at the end-of-life // Health & Place. 2018. Vol. 53. P. 43–51. DOI: 10.1016/j.healthplace.2018.06.005.
4. Grossoehme D. H., Humphrey L., Friebert S., Ding L., Yang G., Allmendinger-Goertz K., Fryda Z., Fosselman D., Thienprayoon R. Patterns of Hospice and Home-Based Palliative Care in Children: An Ohio Pediatric Palliative Care and End-of Life Network Study // The Journal of Pediatrics. 2020. Vol. 225. P. 152–156. DOI: 10.1016/j.jpeds.2020.04.004.
5. Jamshidi S., Parker J. S., Hashemi S. The effects of environmental factors on the patient outcomes in hospital environments: A review of literature // Frontiers of Architectural Research. 2020. Vol. 9. P. 249–263. DOI: 10.1016/j.foar.2019.10.001.
6. Martin D., Nettleton S., Buse C. Affecting care: Maggie's Centres and the orchestration of architectural atmospheres // Social Science & Medicine. 2019. Vol. 240. P. 112563. DOI: 10.1016/j.socscimed.2019.112563.
7. Tishelman C., Lindqvist O., Hajdarevic S., Rasmussen B. H., Goliath I. Beyond the visual and verbal: Using participant-produced photographs in research on the surroundings for care at the end-of-life // Social Science & Medicine. 2016. Vol. 168. P. 120–129. DOI: 10.1016/j.socscimed.2016.09.012.
8. Semidockaja Zh. D., Chernjakova I. A., Neffa M. Ju., Karmazina I. S. Spiritual and moral aspects of incurable disease // Medicina neotlozhnyh sostojanij. 2018. № 1 (88). P. 26–29. DOI: 10.22141/2224-0586.1.88.2018.124965.
9. Barkovskaja A. Ju., Shagieva E. V. Sociocultural features of the formation of an architectural space for medical activities for children with various diseases // European research. 2016. № 12 (23). P. 114–119.
10. Korotkova S. G. Designing a universal environment using special means of accessibility for disabled people // Architecture and Modern Information Technologies. 2020. № 1 (50). P. 154–164. DOI: 10.24411/1998-4839-2020-15010.
11. Panfilova Ju. V. Features of the architectural organization of hospice buildings (on the example of an industrial region) // Problemy nauki. 2017. № 8 (21). P. 44–46.
12. Sadek A. H., Willis J. Ways to harness the built environment of ambulatory cancer facilities for comprehensive patient support: A review of the literature // International Journal of Nursing Studies. 2020. Vol. 101. P. 103356. DOI: 10/1016/j.ijnurstu.2019.05.004.
13. Sadek A. H., Willis J. Are we measuring what we ought to measure? A review of tools assessing patient perception of the healthcare-built environment and their suitability for oncology spaces // Journal of Environmental Psychology. 2020. Vol. 71. P. 11–21. DOI: 10.1016/j.jenvp.2020.101486.
14. Coburn A., Vartanian O., Kenett Y. N., Nadal M., Hartung F., Hayn-Leichsenring G., Navarrete G., González-Mora J. L., Chatterjee A. Psychological and neural responses to architectural interiors // Cortex. 2020. Vol. 126. P. 217–241. DOI: 10.1016/j.cortex.2020.01.009.
15. Sadykova L. R., Akhtiamov I. I., Akhtiamova R. H. Architectural principles of sensorial stimulating spaces design for children’s preschool institutions // Architecture and Modern Information Technologies. 2021. № 2 (55). P. 320–336. DOI: 10.24412/1998-4839-2021-2-320-336.

16. Alvaro C., Wilkinson A. J., Gallant S. N., Kostovski D., Gardner P. Evaluating Intention and Effect: The Impact of Healthcare Facility Design on Patient and Staff Well-Being // Health Environments Research and Design Journal. 2016. Vol. 9. P. 82–104. DOI: 10.1177/1937586715605779.
17. Andrade C. C., Devlin A. S., Pereira C. R., Lima M. L. Do the hospital rooms make a difference for patients' stress? A multilevel analysis of the role of perceived control, positive distraction, and social support // Journal of Environmental Psychology. 2017. Vol. 53. P. 63–72. DOI: 10.1016/j.jenvp.2017.06.008.

УДК 721.01
Гусева Анна Сергеевна
архитектор
Email: ann.boltayeva@gmail.com
ООО «ЗАРФ»
Адрес организации: 420015, Россия, г. Казань, ул. Пушкина, д. 52
Ахтямов Ильнар Ингельевич
доцент
Email: e.achti@gmail.com
Ахтямова Резеда Хакимовна
старший преподаватель
Email: rezeda.akhtiamova@gmail.com
Казанский государственный архитектурно-строительный университет
Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1

Система жилых модулей на крышах с комфортным распространением дневного света как эффективный метод реновации массового жилья

Аннотация

Постановка задачи. Цель исследования – разработать инновационную модель компактного жилья для продуктивного образа жизни в современном городе. Особое внимание уделено массовой средне-этажной жилой застройке периода 1960-70 годов («хрущевкам»), широко представленным в российских городах, в том числе в г. Казани, и остро нуждающимся в реновации.

Результаты. В работе на основе теории архитектуры и урбанизма выявлены принципы организации физически и психологически комфортного пространства для жизни с учетом естественного освещения. Данные принципы сопоставлены с действующими градостроительными нормативами (для г. Казани, Республика Татарстан) и существующими методами реновации жилого фонда. Данный анализ выявил актуальность дополнительного уплотнения жилого фонда средне-этажной массовой застройки и доказал экономическую эффективность подобной стратегии реновации. На основе анализа создана универсальная модель 2-уровневых надстроек на крыше типичного городского 5-этажного жилого дома. Данная модель апробирована в концептуальном проекте для г. Казани, который показал успешность разработанной системы частных и общественных пространств на крышах существующих жилых зданий, где уникальное распределение естественного света создает физический и психологический комфорт в городском жилье.

Выводы. Значимость полученных результатов для архитектуры составляют: 1. Новые архитектурные приемы реновации жилого фонда с применением тенденций устойчивой архитектуры; 2. Повышение экономической ценности территорий жилой застройки; 3. Повышение плотности жилой застройки с учетом физического и психологического комфорта жителей; 4. Визуальное разнообразие среды жилых районов.

Ключевые слова: жилой модуль, массовая застройка, реновация, городская среда, инсоляция, экономическая эффективность.

Для цитирования: Гусева А. С., Ахтямов И. И., Ахтямова Р. Х. Система жилых модулей на крышах с комфортным распространением дневного света как эффективный метод реновации массового жилья // Известия КГАСУ. 2021. № 2 (56). С. 137–146. DOI: 10.52409/20731523_2021_2_137.

1. Введение

Физический и психологический комфорт в плотном городском жилье связан с пропорциями проникающего в него дневного света. Анализ теории архитектуры и урбанистических исследований показал, что восприятие пропорций дневного света в жилище продолжает влиять на психологию современного человека как часть его культурной памяти. Согласно Дж. Краснеру, совокупность визуальных и

кинестетических ощущений образует соматическую основу, благодаря которой человек ощущает эмоциональную поддержку своего домашнего пространства [1]. В связи с этим данные особенности человеческого восприятия важны при современном проектировании.

Данная тенденция относится к превалирующему в современной архитектурной теории и практике философскому направлению, феноменологии, которое подразумевает отсылки к до-языковому созерцанию, к личному переживанию своего существования [2]. Согласно феноменологической концепции «жилья» (эссе «Building Dwelling Thinking», М. Хайдеггер), человек должен воспринимать жилое пространство как среду, обладающую смыслами, «духом места», и соотносить его с личными переживаниями и опытом. В связи с этим кинестетические категории (свет, звук, фактура, теплота) важны для восприятия жилого пространства [3].

Цель исследования – найти современные архитектурные подходы к созданию компактного городского жилья, которое сочетает в себе традиционные основы психологического восприятия жилого пространства и современные требования к физическому комфорту в жилье. Данное направление становится особенно актуальным в контексте реновации массовой средне-этажной жилой застройки 1960-70 годов в российских городах. Поскольку данный вопрос активно обсуждается, необходимо разработать новые модели комфортной среды в данных районах, соответствующие мировым тенденциям устойчивой архитектуры.

Исследование разделено на 3 этапа. Задачи на 1 этапе включают:

- изучение влияния естественного света на человеческое восприятие архитектурного пространства;
- выявление принципов организации физически и психологически комфортного пространства для жизни.

Задачи исследования на 2 этапе:

- сопоставление выявленных принципов с действующими градостроительными нормативами, на примере Республики Татарстан;
- анализ методов реновации жилого фонда для выбора оптимального метода реновации средне-этажной массовой застройки;
- оценка экономической эффективности выбранной стратегии реновации по укрупненным показателям.

Задачи исследования на 3 этапе:

- создание универсальной 2-уровневой системы жилых модулей с общественными площадками на крыше типичного 5-этажного жилого дома;
- внедрение уникальной схемы распространения естественного света в предложенную систему жилых модулей для повышения комфорта жителей;
- апробация системы жилых модулей в концептуальном проекте для г. Казани;
- сопоставление предложенной модели с существующими проектными решениями интенсивной реновации жилого фонда для выявления преимуществ разработанной модели и возможности ее реализации.

2. Материалы и методы

Этапы работы направлены на достижение цели исследования: разработку инновационной модели компактного жилья в современном городе, обеспечивающей физический и психологический комфорт жителей с учетом естественного освещения. Методы исследования на первом этапе включают систематизацию и сравнительный анализ теоретических подходов к жилому пространству. На основе исследований истории жилищной архитектуры [1, 4-6], социологии архитектуры [2, 3], эстетики архитектуры [7-9] и урбанистических натурных исследований [10] выявлены принципы организации физически и психологически комфортного пространства для жизни с учетом естественного освещения.

На втором этапе исследования выявленные принципы психологического восприятия жилого пространства сопоставлены с современными требованиями физического комфорта в городской жилой застройке, с учетом норм инсоляции, вентиляции и плотности населения. В данном исследовании акцентируется внимание на

повышении комфорта среды при реновации массовой средне-этажной жилой застройки периода 1960-70 годов («хрущевок»).

Следовательно, на втором этапе исследования, во-первых, проведен сопоставительный анализ существующих методов реновации жилого фонда [11] и региональных градостроительных нормативов для жилой застройки, на примере Республики Татарстан. Использованы положения Постановления Кабинета министров РТ от 27 декабря 2013 года № 1071. Проанализированы количественные и качественные показатели: коэффициент застройки квартала, расчетная площадь жилого фонда, допустимые случаи увеличения плотности застройки и нормируемая продолжительность инсоляции жилых помещений.

Во-вторых, на основе анализа выбран оптимальный метод интенсивной реновации жилого фонда [11]. Далее проведен анализ социально-экономической эффективности предлагаемой стратегии реновации с выявлением ее социальных результатов [12], таких как повышение жилищной обеспеченности, уровня социально-бытового обслуживания населения и т.п. Выводы сформированы на основе количественных и качественных показателей, приведенных исследователями данного направления [13, 14]. При этом учитывались рассмотренные региональные нормативы плотности жилой застройки.

В-третьих, на основе полученных данных проведена оценка экономической эффективности предлагаемого решения по укрупненным показателям. Для этого использованы приведенные в исследовании [15] формулы для оценки инвестиционных проектов интенсивной реновации жилого фонда: расчет условного экономического эффекта на 1 м^2 площади при реновации без отселения жильцов, а также расчет удельного условного эффекта при реновации с учетом стоимости участка земли при одинаковой стоимости 1 м^2 в новом жилье и в существующем доме [15]. На основе данных формул оценена экономическая эффективность предлагаемого решения – дополнительного уплотнения жилого фонда за счет системы надстроек на крышах существующих зданий. Оценка проведена по укрупненным показателям на основе количественных данных [13, 14]. Таким образом доказана эффективность предлагаемой стратегии реновации жилого фонда.

На третьем этапе исследования использованы методы графического анализа, моделирования и концептуального проектирования. Во-первых, создана универсальная модель компактного модульного жилья на крышах массовой жилой застройки, повышающая экономическую ценность территории данной застройки для города. Во-вторых, в созданную концептуальную модель нового городского жилья внедрена уникальная схема распространения естественного света для улучшения физического и психологического комфорта жителей, разработанная на основе теоретического исследования. В-третьих, предложенная модель компактного жилья на крышах апробирована в концептуальном проекте для типового средне-этажного жилого дома в г. Казани, Республика Татарстан. Наконец, данное решение сопоставлено с существующими проектами интенсивной реновации жилого фонда [16], что позволило выявить преимущества разработанной модели, а также возможность ее реализации.

3. Результаты

При исследовании баланса физического и психологического комфорта в жилье выявлено, что пропорции дневного освещения влияют на человеческое восприятие жилого пространства. Для психологического комфорта в жилье необходим умеренный полусвет. Данный факт имеет исторические корни, когда в древних жилищах не использовали стекло, бетон или кирпич, делая низкую кровлю, необходимую для защиты от ветра и дождя [4]. Так, критерии красоты и гармонии жилого пространства [6] проистекают из накопленного опыта поколений. Исторически вынужденные жить в темных помещениях, люди привыкли эмоционально и физически отдыхать в полусвете и ассоциировать его с защищенным пространством дома [5]. Таким образом, человек интуитивно воспринимает жилище по традиционным критериям, заложенным в его культурном сознании. [2] В связи с этим современное качественное пространство для жизни напрямую зависит от его психологического восприятия, в том числе от распространения дневного света в нем.

Исследователи отмечают простые основы красоты архитектуры традиционного жилища, например, японского: пустое внутреннее пространство отделено деревянными конструкциями, так что проникающий свет образует мягкий полусвет. Подобный интерьер жилого дома обеспечивает психологическое спокойствие жителей [8]. Важно подчеркнуть использование древесных материалов в традиционной и современной жилищной архитектуре. Древесина обладает приятной для человека текстурой, а также умеренно отражает солнечный свет благодаря естественным волокнам, в отличие от многих современных полимеров с глянцевой поверхностью [8]. Так, для достижения психологического комфорта в городском жилье важно соблюдать оптимальные пропорции дневного света, используя современные древесные материалы [8, 9].

Кроме приведенных выше теоретических основ психологического восприятия жилого пространства, необходимо отметить современные исследования урбанистов. Они показывают, что человеческое восприятие публичных и приватных пространств в значительной степени базируется на освещенности этих мест. Исследуя паттерны распределения людей в уличных пространствах с разной степенью освещенности и доступности, Я. Гейл [10], наряду с другими исследователями, пришел к выводу, что ярко освещенные участки в большей степени провоцируют открытое общение, групповые занятия и другую публичную активность. В то же время, менее освещенные участки более характерны для придомовых полуприватных пространств для соседских бесед и уединенного досуга, как палисадники (согласно типологии пространств по Уставу Нового урбанизма). Данный вывод подтверждает высказывание Ю. Палласмаа: «Задача архитектуры состоит в сохранении разнообразия пространств, подчёркивании их иерархии и качественных различий. Архитектура должна оградить нашу частную жизнь от всеобщего обозрения, от чрезмерного общения». [7]

При соотнесении выводов о комфорте жилого пространства с существующими градостроительными нормативами выявлено, что для городской жилой застройки регулируются параметры физического комфорта, как достаточная инсоляция и вентиляция [12], однако параметры психологического комфорта не учитываются. Данное противоречие может обостриться в связи с ростом плотности городского населения. Следовательно, необходимо внедрить в архитектурную практику новый дизайн-код распределения дневного света в городской жилой застройке, чтобы обеспечить комплексную комфортную среду для жизни в современном городе (рис.1а).

Рис. 1. а) стратегия регулирования физического и психологического комфорта в городской жилой застройке; б) график роста экономической ценности жилого дома (изображения авторов)

Подобный принцип социально-экономического развития особенно актуален для современной концепции устойчивого города (Смарт-сити), разрабатываемой для г. Казани [13]. В данном исследовании предлагаемая стратегия ориентирована на реновацию массовой средне-этажной жилой застройки 1960-70 годов, широко представленной в городах Европы и России, в частности, в г. Казани. В настоящее время активно обсуждаются решения по улучшению жилищных условий в застройке этого типа [11, 12]. В

связи с этим данное исследование рассматривает надстройку жилых модулей на кровлях массового жилья, что относится к интенсивным методам реновации [11]. Эффективность предлагаемого метода отражена в графике (рис. 1б), который пояснен ниже.

В результате анализа действующих градостроительных нормативов Республики Татарстан доказано, что надстройка жилых модулей на крышах существующих зданий является оптимальным методом интенсивной реновации. Изученные градостроительные нормативы предполагают возможность дополнительного уплотнения жилого фонда средне-этажной массовой застройки в пределах 20%. Данное ограничение обеспечивает комфорт жилого пространства и организацию потоков передвижения, а также отражает предельно допустимое увеличение нагрузки на существующее здание в случае надстройки дополнительных этажей. Следовательно, надстроенные жилые модули при реновации должны быть компактными и выполненными из легких и прочных материалов. Таким образом, предлагается внедрение 2-уровневой системы жилых модулей из современной клееной древесины на крышах существующих 5-этажных жилых зданий периода 1960-70 годов.

Социальные результаты данной стратегии интенсивной реновации соотносятся с региональной политикой увеличения доступности жилья. [14] Социально-экономическая эффективность предложенного решения доказана при помощи данных социологических опросов, проведенных исследователями данного направления [15, 16]. Так, 95% жителей районов массовой застройки приобретают жилье для себя в целях проживания на постоянной основе. В связи с этим наиболее востребованными являются 2-комнатные квартиры (62,5%), однако квартиры иной конфигурации также пользуются спросом. [16] Таким образом, новая модель жилых надстроек должна предоставлять квартиры различной конфигурации, которые будут привлекательны для разных групп потребителей. При выборе жилого дома покупатели также принимают решение на основании ряда факторов комфортности среды. Анализ потребительских предпочтений [16] показал, что наиболее привлекательно жилье, расположенное в районе с хорошей транспортной доступностью и развитой социальной инфраструктурой, а также желательно наличие зеленой зоны недалеко от жилого дома. Кроме того, важно удобство внутренней планировки квартиры (например, площадь кухни) и наличие функциональных общественных площадок для жителей дома (велосипедные, колясочные и т.д.). [16] Данные факторы важны для составления функциональной и пространственной модели интенсивной реновации жилья.

Актуальность системы надстроенных жилых модулей на крышах массового жилья доказывает проведенная оценка экономической эффективности предложенной стратегии реновации жилого фонда [17] по укрупненным показателям [15, 16]. В результате выявлен рост экономической ценности территории существующего жилого дома при условии, что на его крышу внедряются 2 уровня жилых модулей для разных социальных групп (смешанный портрет потребителей), а компактные общественные площадки между ними используются всеми жителями дома. Данный вывод иллюстрирует авторский график динамики роста экономической ценности территории типового средне-этажного жилого дома (рис.1б), где нижняя линия обозначает развитие территории по действующей традиционной схеме, средняя линия – развитие с добавлением 2-уровневой надстройки жилых модулей для разных социальных групп, а верхняя линия – развитие с внедрением между жилыми модулями на крыше дополнительных общественных функций, доступных для всех жителей дома.

На основе приведенного анализа предлагается внедрить инновационную модель компактного жилья с уникальной системой распространения естественного света. Данная модель обеспечивает физический и психологический комфорт жителей в соответствии с принципами, изученными в данной работе. Модель предполагает 2-уровневую систему жилых модулей из клееной древесины, надстроенных на крыше типичного многоквартирного 5-этажного жилого дома («хрущевки»), что соответствует градостроительным нормативам плотности городской жилой застройки, на примере Республики Татарстан (рис. 2).

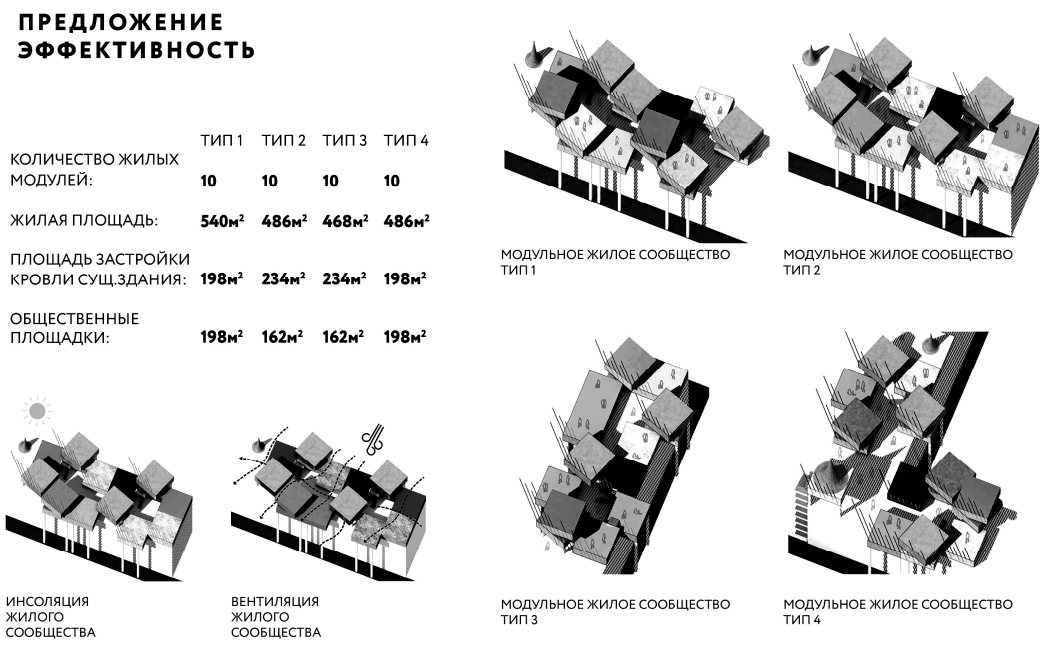


Рис. 2. Жилые модули на крышах массовой застройки: универсальная модель (изображение авторов)

На первом уровне предлагаемая система надстроек представляет собой повторяющиеся группы из 6 квадратных в плане жилых модулей, которые формируют закольцованный контур с внутренним двором (рис. 2). Поскольку массовая жилая застройка имеет модульный шаг вертикальных коммуникаций – лестниц, связывающих этажи здания, крышу и двор, – кластеры жилых модулей на крыше расположены согласно шагу лестничных клеток существующего здания. Между группами модулей оставлены проходы для перемещения жителей, а также для естественной вентиляции. На втором уровне данной системы жилые модули установлены с поворотом в 30 градусов, что улучшает инсоляцию и вентиляцию, а также формирует комфортные визуальные связи и светотень в частных и полуобщественных пространствах жилых модулей (рис.2). Поскольку модули собраны из самонесущих клееных деревянных панелей, данная схема стыковки модулей оптимально распределяет конструктивную нагрузку, а также позволяет организовать двусветные пространства внутри объединенных жилых модулей. Благодаря повороту у модулей на втором уровне появляются личные балконы и общие террасы на крышах модулей первого уровня, что также улучшает физический и психологический комфорт жителей.

Таким образом, в разработанной системе 2-уровневых надстроек в зависимости от взаимного расположения групп модулей выявлено 4 типа жилых сообществ, каждое из которых состоит из 10 модулей различной конфигурации, т.е. базовые квадратные в плане жилые модули могут объединяться в более крупные ячейки. Приведенные количественные показатели плотности новой жилого пространства (рис. 2) соотносятся с изученными региональными нормативами и доказывают, что модульные сообщества на крышах экономически эффективны. Планировочная структура 2-уровневых надстроек обеспечивает оптимальную дополнительную нагрузку на существующее здание и создает инновационные условия физического и психологического комфорта в городском жилье: как в новых жилых модулях на крыше, так и во всем жилом доме.

Разработанная пространственная группировка модулей и поворот второго уровня на 30 градусов являются основными средствами достижения физического и психологического комфорта в новом жилье, поскольку данная конфигурация обеспечивает необходимый уровень освещенности частных и общественных пространств, соответствующий принципам человеческого восприятия. Так, проходя через правильное сочетание света и тени в доме, в полуприватном палисаднике или террасе и общественной площади, человек ощущает психологический комфорт и уют городского

жилья, не смотря на увеличение плотности застройки (рис.2). Во-первых, компактная планировка жилого модуля и оконные проемы с солнцезащитой из деревянных реек (рис. 3) обеспечивают комфортный полусвет в интерьере. В объединенных жилых модулях второй уровень с поворотом обеспечивает игру света и тени. Во-вторых, рассеянное освещение полуприватных дворов и террас между жилыми модулями провоцирует жителей на доверительные отношения, спонтанные беседы и совместный досуг. В-третьих, просторные главные площади между плотными кластерами жилых модулей обильно освещены дневным светом, объединяя жителей всего дома для досуга и мероприятий. Важно, что архитектура предлагаемых жилых модулей создана из современных экологичных клееных деревянных панелей и деревянной обшивки, отражающих дневной свет в комфортной пропорции. Таким образом, новые компактные модульные сообщества на крышах напоминают древний деревянный город, апеллируя к культурной памяти жителей (рис. 3).

Рис. 3. Жилые модули на крышах массовой застройки: апробация. (изображение авторов)

Общественные площадки между жилыми модулями на ограниченном пространстве крыши могут использовать не только обитатели модулей, но и жители всего дома. Базовые и объединенные жилые модули имеют гибкую планировку, что делает их привлекательными для разных потребителей. Кроме того, наружный каркас из клееной древесины позволяет добавить жилую площадь существующим квартирам в зонах гостиных или спален за счет новых деревянных балконов (рис. 3). Таким образом, в предложенной модели компактного жилья на крышах реализуются изученные ранее принципы использования свойств природных материалов и особенностей распространения дневного света для создания физически и психологически комфортной среды.

4. Обсуждение

Предложенная модель компактного жилья на крышах существующей жилой застройки апробирована в концептуальном проекте для г. Казани (рис. 3), который выполнен на основе командного проекта на международный архитектурный конкурс Light Up! Proholz Student Trophy 2020 (Австрия). Результаты данного проекта позволили сопоставить предложенное решение с результатами исследования консалтинговой компании «Стрелка» в 2021 году [18], где представлен каталог решений интенсивной реновации жилого фонда 1960-70 годов. По расчетам Центра городской экономики «Стрелки» [18], на 30 % меньше средств требует реконструкция типовых домов массовых серий, чем строительство того же объема нового жилья. Таким образом, предложенная модель компактного городского жилья на крышах имеет аналоги в виде существующих

проектов интенсивной реновации, что доказывает возможность реализации данного предложения. Кроме того, разработанные решения имеют ряд уникальных преимуществ, улучшающих состояние существующей застройки.

1. Решение способствует повышению экономической ценности территорий существующей жилой застройки благодаря внедрению новых типов жилья для разных социальных групп и компактных общественных площадок для жителей всего существующего здания, что соответствует тенденциям Нового урбанизма.

2. Инновационная система распределения дневного света в жилых модулях на крыше и общественных площадках между ними обеспечивает физический и психологический комфорт жителей. Данная модель повышает плотность жилой застройки в соответствии с растущим спросом на жилье в городе, в рамках действующих градостроительных нормативов.

3. Предложенное архитектурное решение повышает визуальное разнообразие среды ранее монотонных спальных районов, придавая жилым кварталам запоминающийся образ (айдентику). Данный факт подтверждает применимость и возможность трансформации предложенной модели для любого жилого массива.

5. Заключение

1. В современном городском жилье важно соблюдение пропорций естественного освещения для улучшения физического и психологического комфорта жителей.

2. Предложенная 2-уровневая система жилых модулей, надстроенных на крышах существующих жилых зданий, является социально и экономически эффективной стратегией реновации жилого фонда 1960-70 годов, на примере г. Казани, Республика Татарстан. Данная модель имеет потенциал для реализации.

3. Инновационная система распределения дневного света в частных, полуобщественных и публичных пространствах жилых модулей на крышах отражает принципы психологического восприятия архитектурного пространства. Соблюдая параметры иерархии доступности пространств и их освещенности, данная система распределения естественного света обеспечивает комфорт жителей.

4. Архитектура жилых модулей на крыше выполнена из экологичной современной клееной древесины, обеспечивая допустимую нагрузку на существующее здание, низкий углеродный след нового строительства, а также визуальный комфорт жителей благодаря оптимальному отражению материалом дневного света.

Список библиографических ссылок

1. Krasner J. Home Bodies: Tactile Experience in Domestic Space. Columbus : Ohio State University Press, 2010. 217 p.
2. Невлютов М. Р. Феноменологические концепции современной теории архитектуры // AMIT. 2015. Вып. 3. С. 151–160.
3. Вильковский М. Б. Социология архитектуры. М. : Фонд «Русский авангард», 2010. 592 с.
4. Bachelard G. The Poetics of Space. Boston : Beacon Press, 1994. 288 p.
5. McKeon M. The Secret History of Domesticity: Public, Private, and the Division of Knowledge. Baltimore : Johns Hopkins University Press, 2006. 904 p.
6. Gallagher W. House Thinking: A Room by Room Look at How We Live. NY : Harper, 2006. 368 p.
7. Pallasmaa J. The Eyes of the Skin: Architecture and the Senses. Chichester : John Wiley, 2005, 130 p.
8. Tanizaki J. In Praise of Shadows. Sedgwick : Leete’s Island Books, 1977. 56 p.
9. Heschong L. Thermal Delight in Architecture // The Antioch Review. 2012. Vol. 38. P. 260–261. DOI: 10.2307/4638315
10. Gehl J. Life between the houses-outdoor activities and outdoor environments. Copenhagen : Arkitektens forlag, 1980. 358 p.

11. Кумпал Е. А. Проблемы действующей системы содержания и ремонта жилищного фонда и причины их обострения на примере Регионального фонда капитального ремонта многоквартирных домов Томской области. Томск : НИТПУ, 2016. 132 с.
12. Коршунова Е. М. Технико-экономические расчеты строительства новых и реконструкции зданий различного назначения (на стадии технико-экономического обоснования). СПб. : СПбГАСУ, 2011. 104 с.
13. Romanova A. I. et. al. Basic Principles of Innovation Management in the Urban Economy of Smart-City // International Journal of Engineering & Technology. 2018. Vol. 7. P. 412–415. DOI: 10.14419/ijet.v7i4.38.24593
14. Romanova A. I. et. al. Experience in the Region to Increase the Availability of Housing Services // Journal of Social Sciences. 2015. Vol. 6. P. 549–554. DOI: 10.5901/mjss.2015.v6n4s2p549
15. Островский Н. А. Оценка эффективности девелоперского проекта на примере многофункционального жилого комплекса. Екатеринбург : УрФУ, 2018. 114 с.
16. Черепанов Е. А. Оценка привлекательности девелоперского проекта жилого микрорайона на примере «Парковый» Челябинской области. Екатеринбург : УрФУ, 2018. 142 с.
17. Петренева О. В., Пикулева В. О. Методика определения экономической эффективности реконструкции жилищного фонда города // Вестник МГСУ. 2016. Вып. 3. С. 122–134. DOI: 10.22227/1997-0935.2016.3.122-134
18. Новый взгляд на типовые дома // сайт консалтинговой компании КБ Стрелка, strelka-kb.com. URL: http://masshousing-new.strelka-kb.com/ (дата обращения: 10.03.2021).

Guseva Anna Sergeevna
architect
Email: ann.boltayeva@gmail.com
LTD «ZARF»
The organization address: 420015, Russia, Kazan, Pushkin st., 52
Akhtiamov Ilnar Ingelyevich
associate professor
Email: e.achti@gmail.com
Akhtiamova Rezeda Khakimovna
senior lecturer
Email: rezeda.akhtiamova@gmail.com
Kazan State University of Architecture and Engineering
The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

The system of rooftop residential modules with comfortable daylight distribution as an effective method of mass housing renovation

Abstract

Problem statement. The study aims to develop an innovative model of compact housing for a productive lifestyle in a modern city. Particular attention is paid to the industrial mid-rise residential buildings of the 1960-70^{s}, which are in dire need of renovation, being widely represented in Russian cities, including Kazan.

Results. Based on the theory of architecture and urbanism, proposed are the principles of organizing a comfortable living space, concerning natural lighting. These principles were compared with the urban planning standards (for the city of Kazan, the Republic of Tatarstan) and the existing methods of housing renovation. This analysis revealed that adding extra housing modules on the rooftops of existing mid-rise mass housing would have a positive economic effect. Thus, 2-level timber extensions were proposed for the rooftop of a typical 5-storey residential building. This model was tested in a conceptual project for Kazan, Republic of Tatarstan, where the system of private and public spaces ensured unique natural light distribution, for the physical and psychological comfort in urban housing.

Conclusions. The results are aimed at solving several topical issues for Russian cities, including Kazan: 1. Mass housing renovation with sustainable architecture trends; 2. The increase of these residential areas' economic value; 3. Population density increases, with enhancing the residents' physical and psychological comfort; 4. Visual diversity of the residential areas' environment.

Keywords: residential module, mass housing, renovation, urban environment, insolation, economic efficiency.

For citation: Guseva A. S., Akhtiamov I. I., Akhtiamova R. Kh. The System of Rooftop Residential Modules With Comfortable Daylight Distribution as an Effective Method of Mass Housing Renovation // Izvestija KGASU. 2021. № 2 (56). P. 137–146. DOI: 10.52409/20731523_2021_2_137.

References

1. Krasner J. Home Bodies: Tactile Experience in Domestic Space. Columbus : Ohio State University Press, 2010. 217 p.
2. Nevlyutov M. R. Phenomenological concepts of modern architecture theory // AMIT. 2015. Vol. 3. P. 151–160.
3. Vilkovsky M. B. Sociology of architecture. M. : Russian avant-garde, 2010. 592 p.
4. Bachelard G. The Poetics of Space. Boston : Beacon Press, 1994. 288 p.
5. McKeon M. The Secret History of Domesticity: Public, Private, and the Division of Knowledge. Baltimore : Johns Hopkins University Press, 2006. 904 p.
6. Gallagher W. House Thinking: A Room by Room Look at How We Live. New York : Harper, 2006. 368 p.
7. Pallasmaa J. The Eyes of the Skin: Architecture and the Senses. Chichester : John Wiley, 2005, 130 p.
8. Tanizaki J. In Praise of Shadows. Sedgwick : Leete's Island Books, 1977. 56 p.
9. Heschong L. Thermal Delight in Architecture // The Antioch Review. 2012. Vol. 38. P. 260–261. DOI: 10.2307/4638315.
10. Gehl J. Life between the houses-outdoor activities and outdoor environments. Copenhagen : Arkitektens forlag, 1980. 358 p.
11. Kumpal E. A. Problems of the current system of maintenance and repair of the housing stock and the reasons for their aggravation on the example of the Regional Fund for the overhaul of apartment buildings in the Tomsk region. Tomsk : NITPU, 2016. 132 p.
12. Korshunova E. M. Technical and economic calculations for the construction of new and reconstruction of buildings for various purposes (at the stage of a feasibility study). SPb. : SpbGASU, 2011. 104 p.
13. Romanova A. I. et. al. Basic Principles of Innovation Management in the Urban Economy of Smart-City // International Journal of Engineering & Technology. 2018. Vol. 7. P. 412–415. DOI: 10.14419/ijet.v7i4.38.24593.
14. Romanova A. I. et. al. Experience in the Region to Increase the Availability of Housing Services // Journal of Social Sciences. 2015. Vol. 6. P. 549–554. DOI: 10.5901/mjss.2015.v6n4s2p549.
15. Ostrovsky N. A. Evaluation of the effectiveness of a development project on the example of a multifunctional residential complex. Yekaterinburg : UrFU, 2018. 114 p.
16. Cherepanov E. A. Assessment of the attractiveness of the development project of a residential microdistrict on the example of «Parkovy» of the Chelyabinsk region. Yekaterinburg : UrFU, 2018. 142 p.
17. Petreneva O. V., Pikuleva V. O. Methodology for determining the economic efficiency of the reconstruction of the city's housing stock // Vestnik MGSU. 2016. Vol. 3. P. 122–134. DOI: 10.22227/1997-0935.2016.3.122-134.
18. A new look at typical houses // strelka-kb.com: Strelka consultant bureau website. URL: http://masshousing-new.strelka-kb.com/ (reference date: 10.03.2021).

УДК 721.011(16-1)
Нуреев Тагир Магданурович
доцент
Email: ntm60@mail.ru
Попов Антон Олегович
Кандидат технических наук, доцент
Email: a.o.popov@yandex.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет
Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная д. 1
Нуреева Динара Тагировна
ведущий архитектор
Email: dinara904@yandex.ru
ООО «Зодчество»
Адрес организации: 420126, Россия, г. Казань, пр. Ямашева, д.83. оф. 01

Методология создания жилой трёхлучевой объёмно-планировочной структуры

Аннотация

Постановка задачи. Цель настоящего исследования – создание методологии проектирования жилой трехлучевой объёмно-планировочной структуры для высокоплотной жилой застройки малой и средней этажности. Методология создана для центральной и южной зон инсоляции России в условиях санитарных норм 2017 года. Методология применима в странах, размещенных в обоих полушариях нашей планеты с зеркально отражёнными условиями норм инсоляции России.

Результаты. Разработана методология, создающая множество типов «дочерних» жилых секций на основе одной «Т»-образной трёхлучевой жилой секции, которая названа «материнской». Прикладным результатом исследования явилась методика из 27 планиметрических методов архитектурной комбинаторики и кинетики, а также два патента. Представленные методы реализованы в кирпиче при реконструкции жилого квартала № 75 исторического центра города Мензелинск в Республике Татарстан.

Выводы. Значимость полученных результатов для архитектуры заключается в энергоэффективном проектировании, выраженном в уменьшении времени проектирования и в увеличении типов «дочерних» жилых секций. Методология необходима для создания компьютерной программы по проектированию жилой трёхлучевой объёмно-планировочной структуры. На основе кинетики её элементов создаются иные многолучевые структуры жилой застройки различной этажности.

Ключевые слова: энергоэффективное проектирование, «Т»-образная материнская жилая секция, дочерние жилые секции, комбинаторика, транспозиция, кинетика, комбинаторный блок, планиметрия, стереометрия.

Для цитирования: Нуреев Т. М., Попов А. О., Нуреева Д. Т. Методология создания жилой трёхлучевой объёмно-планировочной структуры // Известия КГАСУ. 2021. № 2 (56). С. 147–160. DOI: 10.52409/20731523_2021_2_147.

1. Введение

Актуальность высокоплотной жилой застройки малой и средней этажности доказывается многими реализованными на рубеже 20-21 веков объектами зарубежного опыта, разрушающими стереотипы девелоперов современной России [1]. Предложенное ими направления высотного жилищного строительств вызывает психологическое отторжение, как профессионального сообщества, так и жителей городов настоящей России, приводящих примеры больших площадей неосвоенных земель страны [2]. Гипотеза настоящего исследования исходила из постулата выполнения основного законодательного требования к жилью – нормативной инсоляции каждой квартиры жилой застройки. Анализ мирового опыта высокоплотной жилой застройки, в поиске правомерности гипотезы, привёл к использованию архитекторами мира трёхлучевой

объёмно-планировочной структуры жилой секции (далее – ТЛОПС), использующей третью координатную систему, расположенную под углом к традиционной – ортогональной. Именно повороты трёх координатных систем, следующих за движением солнца, обеспечивают нормативное время инсоляции каждой квартиры [3]. Этот же метод позволил архитектору Оле Шеерину создать в Сингапуре сетчатую застройку – «Вертикальную деревню», развивающуюся не только по горизонтали, но и по вертикали [4]. Объекты с трёхлучевой объёмно-планировочной структурой имеют сложную угловую конфигурацию, вызывающий вопрос в её экономической эффективности: происходит ли удорожание стоимости строительства квадратного метра квартир при усложнённой конфигурации периметра жилой секции? Эмпирический опыт учёных Турции по определению разницы стоимости квадратного метра жилых зданий с разными конфигурациями периметра, даже размещённых в сейсмических условиях, опровергает это предположение [5].

На основе выявленных проблем реновации рассматриваемого квартала была сформулирована цель исследования, для достижения которой были поставлены шесть задач настоящего исследования.

Цель настоящего исследования – определение граничных условий использования жилой трёхлучевой объёмно-планировочной структуры: санитарных, функциональных, конструктивных, архитектурно-композиционных, экономической целесообразности, а также художественной выразительности.

Первая задача: создание инсоляционной градостроительной гибкости в проектах жилых ТЛОПС в сложных градостроительных условиях. Первой попыткой её создания в СССР можно считать треугольные угловые вставки между блокируемыми жилыми секциями типовых серий под углом 30, 45 и 60 градусов. Графически эти решения можно увидеть на рисунке Е.1А в Своде правил 31-107-2004. Но возникло неприятие решения будущими жильцами из-за острого угла внутри квартиры, который был уменьшен вдвое: на блокируемые жилые секции. Отказ от выбранного метода градостроительной гибкости привел к пустым угловым пространствам между жилыми секциями. Таким образом, решение задачи оставили будущим поколениям архитекторов. Вторая задача: отсутствие в Единой системе конструкторской документации СССР и России (ЕСКД) требований по проектированию в планиметрии объектов, с наличием разнонаправленных систем координат, пересекающих под углом ортогональные оси: «X» и «Y». Они не упоминаются и до сих пор в действующих нормах: ГОСТ 21.1101-2013 (ГОСТ) и ГОСТ 21.501-2018. В пункте 5.3.2 ГОСТ существует лишь одна рекомендация, косвенно предлагающая решить проблему введением букв латинского алфавита. Третья задача: отсутствие на заводах стройиндустрии технологий, выпускающих круглопустотные плиты перекрытий угловой конфигурации, необходимых для ТЛОПС. Следующие три задачи относятся к инженерным разделам типовых проектов жилых серий советского исторического периода: изменение типологии квартир в жилой секции для достижения цели, требуемой заказчиком: различные количественные пропорции в 4 типах квартир при сохранении их инсоляции. Четвёртая задача: замена действующей системы утилизации отходов в виде мусоропровода и мусорокамеры в каждой жилой секции с запретом их примыкания к жилым комнатам. Пятая задача: вертикальная система отопления типовых проектов, не позволяет менять типы квартир и получать реальные расходы энергоресурсов в них. Шестая задача: создание системы естественной вентиляции, позволяющей быстро изменить типологию квартир жилой секции, используя изделия заводского изготовления. Чтобы понять величину проблемы, достаточно привести три примера абсурдных ситуаций с действующей системой железобетонных вентиляционных блоков (далее – ж/б вентблоков): А). Запрет опирания плит перекрытий на мелкоразмерные ж/б вентблоки, размерами 400х600 мм, применяемых в кирпичном строительстве. Появление многоугольного помещения в ТЛОПС с ж/б вентблоками, могло привести архитектора к когнитивному диссонансу. Б). Естественно, тяжёлый вес ж/б вентблоков вынуждал опирать их на свои фундаменты. Законы физики не позволяли архитектору «остановить» ж/б вентблоки на любом этаже и разместить под ними помещения, функция которых не

требует вентиляции. В). Объём воздуха в 12 м^3, приходящийся на санузел, можно использовать с одним ж/б вентблоком только в пределах девяти этажей. Соответственно, с 10 по 18-й этажи приходилось ставить второй ж/б вентблок. А под него ставить «холостые» ж/б вентблоки, работающие как фундамент высотой в девять этажей. А это - абсурд «в квадрате».

2. Материалы и методы

Настоящее исследование предлагает решения указанных выше задач создания ТЛОПС, в виде методологии энергоэффективного проектирования. Энергоэффективность рассматривается как влияние затраченной энергии на сокращение времени проектирования. Потому как по принципу Гейзенберга: «…энергия и время считаются канонически сопряжёнными величинами и могут быть подвержены корреляции…»: формула 33.6 [6]. Суть методологии - в создании многообразия типов дочерних жилых секций (ДЖС) из одной: «Т» - образной материнской жилой секции (МЖС). Многообразие типов дочерних секций создаётся методами комбинаторики и кинетики.

Комбинаторика и кинетика объекта – это термины, не являющиеся синонимами. Это разные состояния объекта. Комбинаторика объекта – это стационарное состояние объекта в пространстве в начале и в конце процесса его замены другим объектом или им же самим. Комбинаторика – раздел математики (геометрии), применяясь в архитектуре, приобретает новые свойства и именуется архитектурной комбинаторикой [7]. Один из методов архитектурной комбинаторики называется «транспозиция». Транспозиция в комбинаторике – это перестановка элементов, которая меняет местами только два элемента [8]. Архитектурная комбинаторика – это использование закладываемых в МЖС «генов» возможности осуществления комбинаторики и кинетики элементов ТЛОПС: конструкций, комнат, квартир, комбинаторных блоков, жилой секции и т.д.

Кинетика объекта – это алгоритм движения объекта, меняющий его положение в пространстве во время движения до достижения цели комбинаторики. Архитектурная кинетика – это кинетическая геометрия, применяемая к архитектурным объектам. Кинетическая геометрия – это раздел теории машин и механизмов, возникшей в 18 веке.

3. Результаты

Первая проблема – монотонность застройки решается ТЛОПС. Но не на стыке жилых секций, а внутри их: в виде трёх комбинаторных блоков на шарнирном узле МЖС (рис. 1).

Такой же шарнир, как в локте руки. Но локоть в ТЛОПС создаётся для трёх рук – трёх лучей блокировки. Общеизвестно, что из блокировки спаренных трёх лучей можно создать любые многоугольные сетчатые структуры. В идеале шарнирный узел должен быть круглым или многоугольным, размещаясь между лестнично-лифтовым узлом (ЛЛУ) и входами в квартиры. Но для удовлетворения условий инсоляции квартир в центральной и южной зонах инсоляции России в шарнирный узел вводится «ген» комбинаторики в виде трёх углов, ориентированных на азимуты 0, 135, 225. Назначенные углы созданы для трёх жилых комбинаторных блоков ТЛОПС: центрального и двух периферийных - западного и восточного. Ниже – методы создания «мутаций» МЖС с внедрённым в ТЛОПС «геном» комбинаторики в различные типы ДЖС.

Комбинаторика и кинетика в планиметрии и в стереометрии строятся на принципиально разных методах. В связи с указанным обстоятельством в статье представлена методология только для планиметрии с выделением курсивом слова «метод». Номер метода обозначен цифрой в полукруглых скобках после названия метода. Для каждого из 27 разработанных методов архитектурной комбинаторики созданы геометрические алгоритмы кинетики. Были определены пять методологических целей комбинаторики (цифры вначале): 1). Создание ДЖС, отличающихся азимутами продольных осей трёх комбинаторных блоков. 2). Расширение сектора азимутов инсоляции ДЖС. Цель достигается методом комбинаторики, изменяющим тип квартир первоначальной односторонней ориентации на

квартиры двусторонней ориентации (1). 3). Создание ДЖС, отличающихся от МЖС типами и количеством квартир. Третья цель достигается шестью методами (буквы вначале): А). Методом стыкования разных типов ДЖС (2). Б). Методом слияния торцовых конструктивных пролётов смежных секций (3). В) Методом ликвидации торцового конструктивного пролёта в одной секции в зоне стыкования смежных секций (4). Г). Методом ликвидации торцевых конструктивных пролётов у обеих смежных секций по оси стыкования (5). Д). Методом получения квартир двусторонней ориентации с уменьшением количества комнат в квартирах секции (6). Е) Методом увеличения количества малокомнатного типа квартир, приходящегося на единицу площади жилой застройки (7).

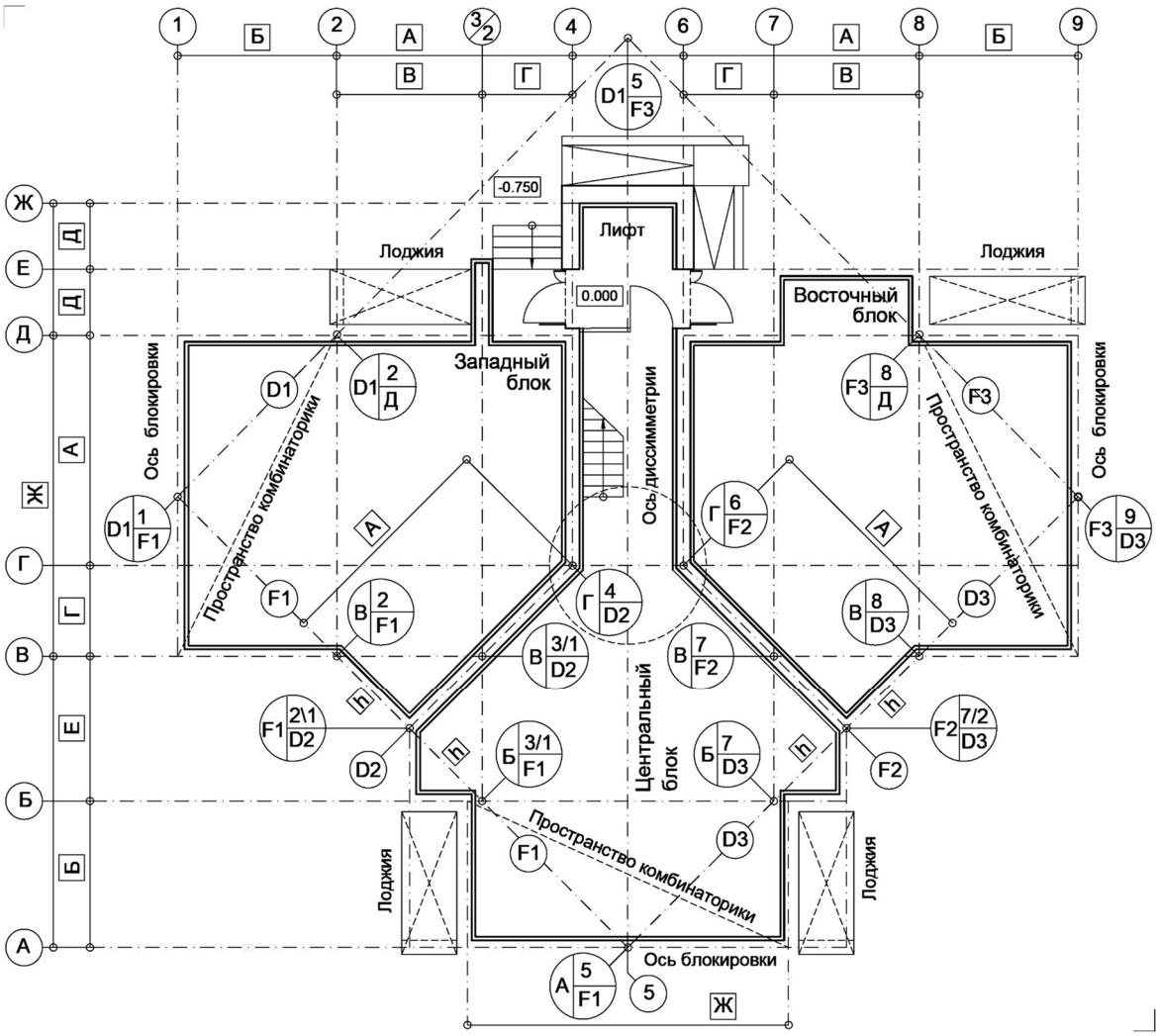


Рис. 1. Материнская жилая секция (МЖС) (иллюстрация авторов).

4). Методом создания свободной планировки из многообразия конфигураций дворовых пространств (8). Для выполнения перечисленных выше целей комбинаторики и кинетики первоначально нужно создать МЖС: «Т»-образную. Методология рассматривает уровень комфорта квартир только типа «стандарт», которые определяются приказом Минстроя России № 237/ПР от 29.04.2020 г. В представляемой методологии внедряется *метод* определения и утверждения исходного модуля (9), избавляющего архитектора от разработки новой серии ТЛОПС: с увеличенными площадями. На прилагаемых схемах исходный модуль обозначен прописной буквой «А» внутри графического квадрата, расположенного над размерной линией. Архитектору, проектирующему ТЛОПС, после 2025 года не нужно будет «с чистого листа» разрабатывать все типы ДЖС. Ему нужно будет только умножить исходный модуль на коэффициент, позволяющий МЖС

достигнуть величины нового регионального норматива. Алгоритм создания «Т-образной» материнской жилой секции (МЖС) ТЛОПС. Алгоритм определён девятью этапами:

1. Определение исходного модуля, создающего три жилых комбинаторных блока, состоящих из квартир типа «стандарт».

2. Создание шарнирного узла трёх жилых комбинаторных блоков.

3. Создание третьей и четвёртой координационных осей методом их взаимного увязывания контрольными точками пересечений с осями «X» и «Y» (10).

4. Создание центрального, западного и восточного комбинаторных жилых блоков.

5. Выбор расположения лифта в лестнично-лифтовом узле (ЛЛУ): снаружи здания или внутри. Создать в ЛЛУ условия для маломобильных групп населения (ММГН).

6. Соблюдение противопожарных требований по 123 ФЗ от 22.07.2008 г.

7. Увеличение сектора инсоляции каждого типа ДЖС.

8. Исключение «мокрых» помещений в торцевых конструктивных пролётах МЖС.

9. Внедрение «гена» кинетики в ДЖС в целях изменения типов квартир. Расшифруем лишь те этапы алгоритма, в которые внедрён «ген» возможности осуществления реальной кинетики между тремя комбинаторными блоками. Начнём с первых двух этапов алгоритма, которые базируются на пяти принципах: А). Трилистник МЖС должен быть создан в виде «Т»-образного плана из трёх комбинаторных блоков: центрального, западного и восточного (рис. 1). Б). Все три комбинаторных блока МЖС должны иметь глухие торцевые и внутренние стены для целей их взаимной блокировки, комбинаторики и кинетики в ДЖС ТЛОПС. В). Координационные оси в местах блокировки любого из трёх комбинаторных блоков должны совпадать по внешним размерам между собой. Г). Шарнирный узел – это трёхлучевой излом в середине внутренних стен трёх комбинаторных блоков по азимутам 0, 135 и 225. Д). Создание квадрата третьей координатной системы, повёрнутой на 45 градусов к традиционной системе. Углы квадрата должны связывать середины глухих внешних торцов комбинаторных блоков.

Третий этап: в соответствии с косвенными рекомендациями стандарта по оформлению чертежей, действовавшего в период реновации упомянутого выше жилого квартала, в МЖС вводилась система обозначения планиметрических четырёх координатных систем, а также контрольных точек их пересечения. Расшифруем пять обязательных условий 3-го этапа – создание в планиметрии трёх и более координационных осей ТЛОПС: А). Координационные оси несущих конструкций должны быть по их центру. Б). Создание контрольных точек на пересечениях трёх координатных систем.

В). В соответствии с последним предложением пункта 5.3.7 ГОСТ, зданием считать жилую группу из нескольких ДЖС. Любые координатные системы жилой группы, расположенные под углом к системам «X» и «Y», относить к иным разнонаправленным координатным системам. Соответственно к ним применять рекомендацию необходимости пункта 5.3.2 ГОСТ по их обозначению латинскими буквами. Вопрос: как реализовывались указанные рекомендации ГОСТ в упомянутой выше реновации жилого квартала? Ответ: решение принималось исходя из необходимости дистанционного общения ответственных лиц организаций, принимавших участие в реализации ТЛОПС. Заказчик, проектировщик и генподрядчик с объектом находились в трёх разных городах РТ. Звуковое дистанционное воспроизведение между ними названий разнонаправленных координационных осей объекта должно было восприниматься одинаково и адекватно. Соответственно, совместным решением трёх юридических лиц была утверждена «Инструкция по наименованию разнонаправленных координатных систем проекта» (Инструкция). В ней были исключены 12 из 26 букв латинского алфавита, являющихся визуальной или звуковой копией букв русского алфавита и арабской цифры «1»: A, B, C, E, H, I, M, O, P, T, X,Y. Соответственно, все оси, расположенные в координатной системе по азимутам 45 и 225, обозначались одной буквой «D» с последовательным (слева - направо) присоединением арабских цифр: «D1», «D2» и т.д. Оси, расположенные по азимутам 135 и 315, обозначались одной буквой «F», с последовательным (слева - направо)

присоединением арабских цифр: «F1», «F2» и т.д. (Рис. 1-3). Решения «Инструкции» позднее подтвердились введением 1-го абзаца пункта 5.3.2 ГОСТ, разрешающее присваивать зданиям самостоятельную систему обозначения координационных осей. А также подтвердились работой в период пандемии Covid-19.

Г). Часть координационных осей в ТЛОПС должна быть предназначена для несущих конструкций, не имеющих фундаментов. Указанной конструкцией явилось изобретение: ригель «Нуртамаг», несущий не только плиты перекрытий, но и пенобетонные вентиляционные блоки (п/б вентблоки). Изобретение было оформлено в виде двух патентов [9, 10]. Оформление патентов было выполнено без раздела вентиляции несмотря на то, что изобретение было создано именно для него. В связи с вышеуказанным обстоятельством, настоящей статьёй исправляется нежелание Роспатента рассматривать указанную взаимосвязь. Расшифровка названия ригеля и его свойств – тема следующей статьи.

Д). Координационные оси каждого из трёх комбинаторных блоков МЖС должны сохранять симметрию размеров, но предполагать диссимметрию внешнего контура стен. Это условие связано с необходимостью корреляции типов квартир внутри комбинаторных блоков ТЛОПС с демографией России: со средним количеством человек в домохозяйстве = 2,6 человек [11]. Контрольные точки ТЛОПС исполняют четыре задачи проектирования для достижения цели – уменьшения количества опций в алгоритмах архитектурной кинетики в будущей компьютерной программе. А именно: А). Привязка четырёх координационных осей в одной точке, уменьшая количество множественности точек в случае отсутствия их пересечения. Б). Привязка точек перелома направлений координационных осей для несущих и самонесущих колонн, стен, простенков, а также вентиляционных блоков. В). Привязка точек центров радиусов вращения или зеркального отражения элементов ТЛОПС при использовании операций комбинаторики. Г). Перевод координат контрольных точек сблокированных секций ТЛОПС в генеральном плане проекта жилой группы в геодезические координаты спутниковой системы «Глонасс». Обозначение контрольных точек комбинаторики для четырёх пересекающихся координационных осей выполняется в виде диаметра окружности в 20 мм с тремя секторами, ортогональными друг другу и не связанными с центром окружности.

Пятый этап. С точки зрения финансовой эффективности сравним два вида размещения ЛЛУ: наружное и внутреннее. В сравнении будем исходить из одинаковой площади участка жилой группы для размещения в ДЖС двух типов ЛЛУ. Внутренний лифт имеет одно преимущество: без пандуса поднимает на лифте ММГН с уровня тротуара на отметку чистого пола 1-го этажа. Но имеет экономический недостаток в виде увеличения размеров секции за счёт увеличения площади путей эвакуации. Этот недостаток потребует компенсации увеличением количества квартир на этаже. Увеличение размеров здания приведёт к уменьшению площади дворовой территории и уменьшению количества жилых секций. Наружный лифт, представленный в рисунках настоящей статьи, не имеет недостатков внутреннего лифта. Ликвидация наружного лифта позволит использовать проект для здания малой этажности с большим количеством секций. Восьмой этап: исключение «мокрых» помещений в торцевом конструктивном пролёте всех трёх комбинаторных блоков ДЖС. Рассматриваемое исключение решает массу социальных и градостроительных задач методами комбинаторики, изложенных далее в разделе «Методика комбинаторики в изменении типов квартир смежных секций».

Девятый этап: изменение типологии квартир смежных жилых секций ТЛОПС. Выполняется четырьмя методами: А). Метод комбинаторики помещений внутри одной квартиры (11). Б). Метод комбинаторики торцовых пролётов смежных жилых секций (12). В). Метод комбинаторики помещений квартир смежных секций (13). Г). Метод размещения ригеля Nurtamag у помещений с «геном» кинетики (14). Методы создания различных типов дочерних жилых секций (ДЖС). Эмпирически определены три метода кинетики блоков МЖС: вращательная (15), зеркальная (16), зеркально-вращательная (17).

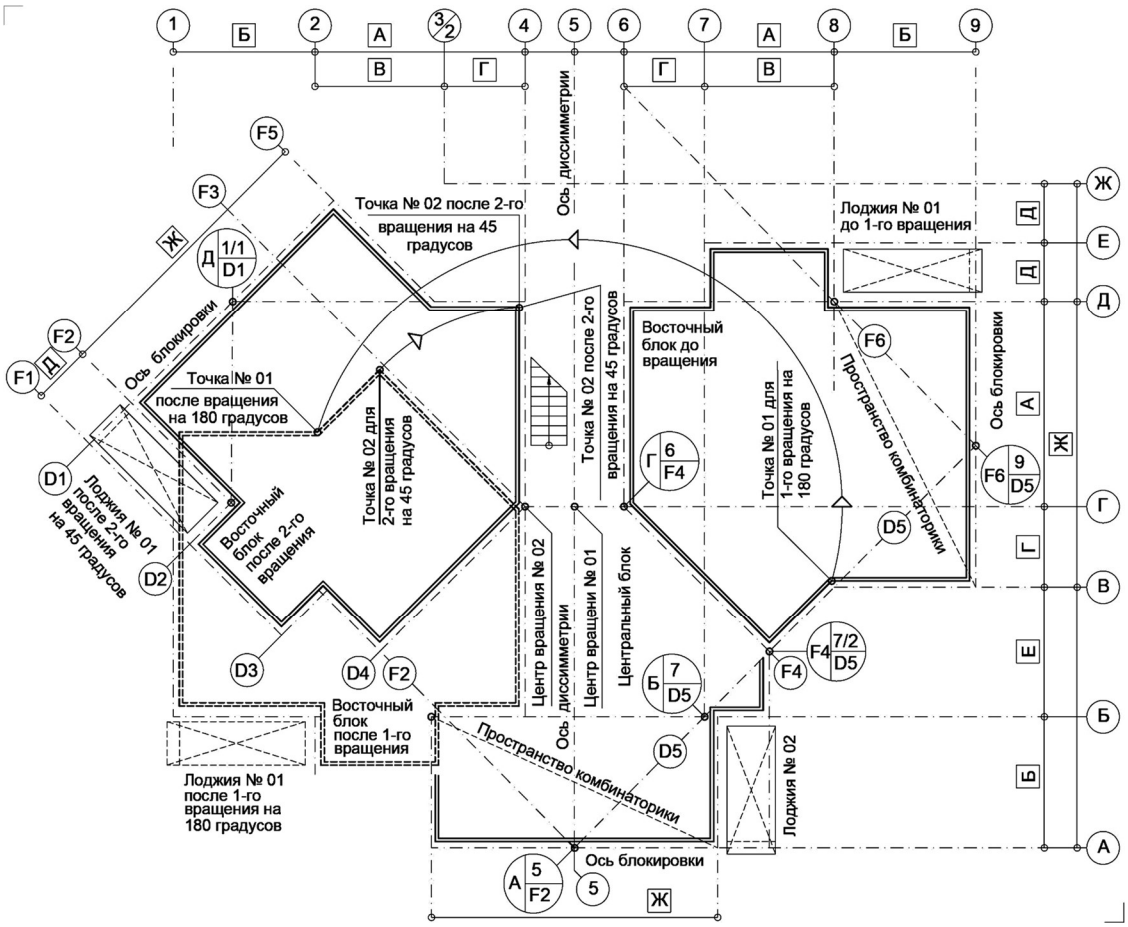


Рис. 2. Метод 15. Алгоритм получения дочерней жилой секции (ДЖС) с азимутом 315 (иллюстрация авторов)

Обращаем внимание на то, что кажущаяся простота однократного вращения любого комбинаторного блока на величину градуса в азимуте не приведёт к точной привязке его координационных осей к осям оставшихся комбинаторных блоков. Для алгоритма будущей компьютерной программы необходимо точное описание операций кинетики с комбинаторными блоками. А именно: А). Точек привязки центра вращения (или зеркального отражения) на пересечениях координатных осей. Б). Радиусов поворота оригинала блока. В). Оси зеркального отражения блока. Опишем текстом кинетику получения трёх типов дочерних жилых секций двумя методами – А и Б. А). Метод вращательной транспозиции (15): А.1). Алгоритм получения угловой секции с азимутом 315: северо-запад. Итоговый результат – транспозиция: восточный блок, направленный на северо-запад (рис. 2). А.2) Алгоритм получение угловой жилой секции с азимутом в 45 выполняется зеркально пункту А.1. Итог – транспозиция: западный блок, повёрнутый на северо-восток. А.3). Алгоритм получение поворотной секции с углом 90 градусов между периферийными комбинаторными блоками (западным и восточным), аналогичен алгоритмам А.1 и А.2 с их итоговой транспозицией – азимутами 45 и 315. Б). Алгоритм получение иного азимута оригинала блока осуществляется с помощью зеркального метода кинетики самого оригинала блока (16). Б.1). Метод зеркально-вращательной кинетики (17). В нём используются 15-й и 16-й методы кинетики оригинала блока. В этом методе отсутствует транспозиция. Итог: зеркальный себе западный блок, повернутый по азимуту 315.

Методы изменения типов квартир в дочерних жилых секциях (ДЖС) ТЛОПС. Методы должны решать следующие пять задач задания на проект ТЛОПС: 1) Увеличение количества предпочтительного типа квартир. 2) Обеспечение жилых комнат квартир нормативной инсоляцией. 3) Создание двусторонней ориентации жилых комнат в квартирах.

4). Создание автомобильного проезда через секцию. 5) Создание сквозной террасы при квартирах на любом этаже. Указанные пять задач решаются четырьмя методами кинетики: А). Метод вращения гостиной комнаты 3-х комнатной квартиры периферийных блоков на 90 градусов превращает квартиру в 4-х комнатную (18). И наоборот (Рис. 3). На рис. 3 границы ригеля изображены двумя пунктирными линиями, с расстоянием между ними 800 мм. На оси ригеля размещены п/б вентблоки в виде прямоугольников 400×600 мм, с внутренней диагональю. Также мы видим вентиляционные каналы внутри квартирных и межквартирных стен рядом с п/б вентблоками на ригеле. Они предназначены для жилых зданий малой этажности.

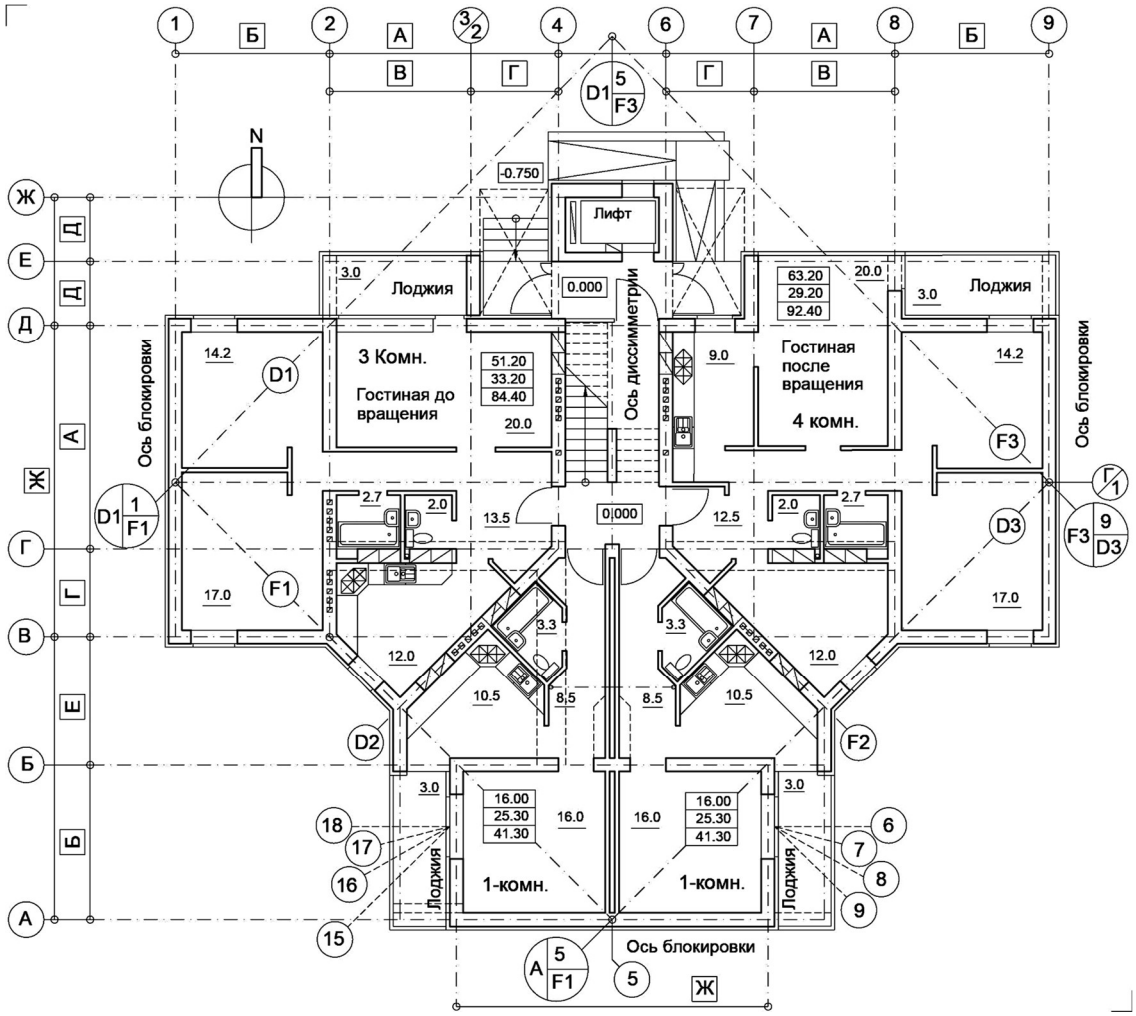


Рис. 3. Материнская жилая секция (МЖС) (иллюстрация авторов)

Б). Метод комбинаторики по замене двух квартир одного типа одной квартирой другого типа в центральном комбинаторном блоке (19). Метод заменяет две однокомнатные квартиры на одну трёхкомнатную. Изменение типов квартир в ТЛОПС решается одним основным и двумя дополнительными методами. В) Основной метод: слияние торцевых конструктивных пролётов двух смежных секций, блокируемых между собой (3). Итог метода показан в виде срединного фрагмент жилой секции в зоне блокировки торцевых конструктивных пролётов «Z»-образной 2-х подъездной жилой секции (рис. 4, А и Б).

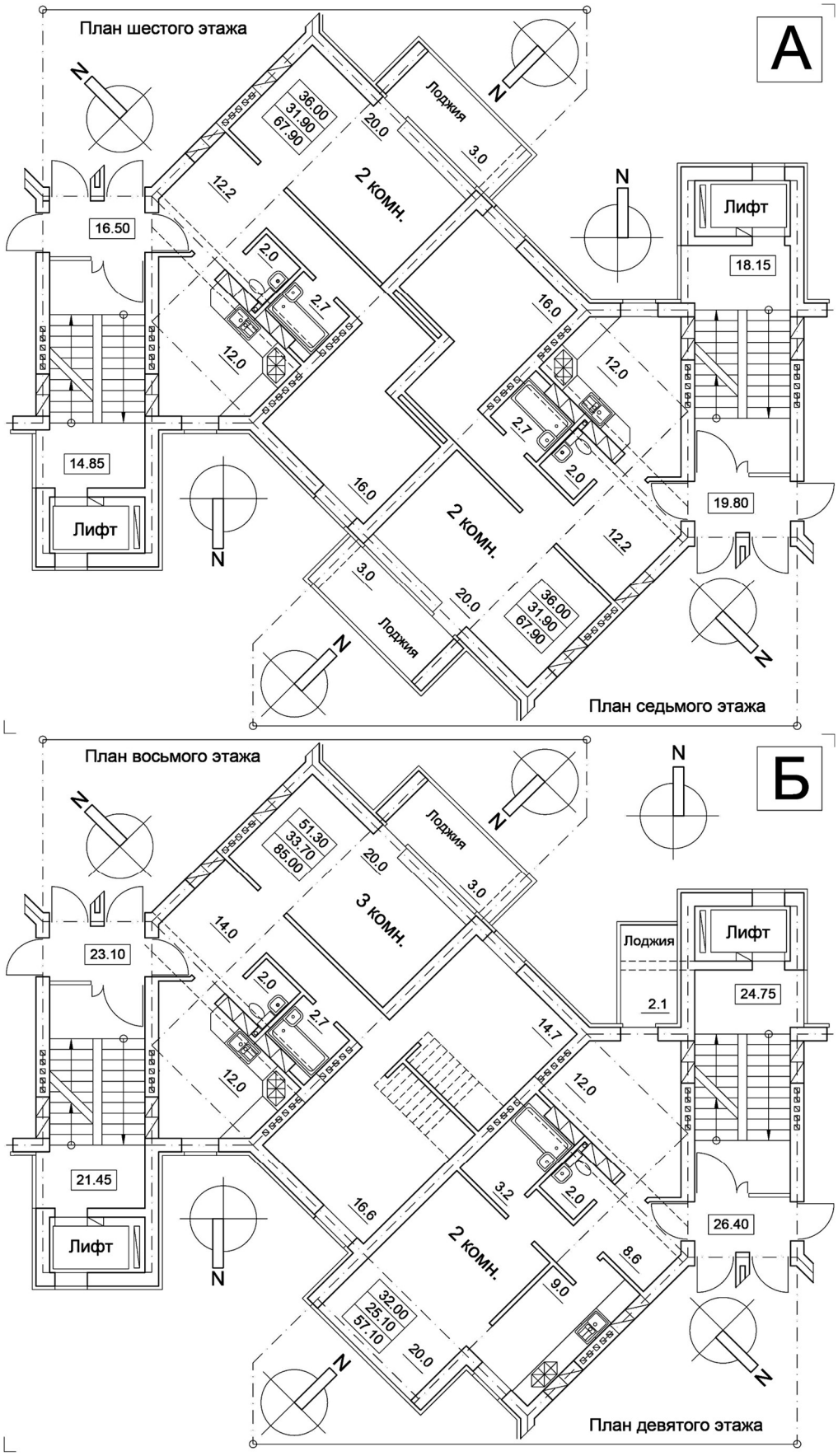


Рис. 4. Центральный фрагмент «Z»-образной дочерней жилой секции (иллюстрация авторов)

Данный метод позволяет решить пять задач: 1). Изменение типа квартир ДЖС, блокируемых между собой. 2). Уменьшение количества жилых комнат в торцовых квартирах ДЖС. 3). Создание двусторонней ориентации жилых комнат квартир ДЖС, блокируемых между собой. 4). Создание на любом этаже сквозного проёма между блокируемыми секциями для сквозного проветривания двора. 5). Создание сквозного проезда для всех видов транспорта между секциями первого этажа, а также сквозного пешеходного прохода. Третий метод позволяет получить ещё два дополнительных метода комбинаторики: В.1). Метод размещения в пространстве слившихся торцевых конструктивных пролётов двух жилых комнат квартир, принадлежащих смежным секциям (20) (рис. 4А). В.2). Метод замены торцового конструктивного пролёта одной секции аналогичным пролётом другой секции (21) (рис. 4.Б). В этом методе одна из секций лишается своего торцового конструктивного шага. Метод сохраняет количество квартир в обеих секциях, но меняет типологию их торцевых квартир. Г). Метод замены двух торцовых пролётов блокируемых секций на третью секцию: малоэтажную с нетрадиционным типом лестницы (22). Метод создания многоуровневых квартир для родственных поколений (23) (рис. 4Б). Метод изменения типов дочерних жилых секций путём блокировки их самих. Два нижеприведённых метода – это блокировка жилой секций со своей копией. Только до блокировки копия жилой секции должна быть повёрнута на 180 градусов. Метод создания «Z»-образного двухсекционного здания, собранного из двух секций с азимутом западного комбинаторного блока в 315 градусов. (24). Симметрия метода: с восточным комбинаторным блоком с азимутом в 45 градусов.

Метод создания «Х»-образной 4-х лучевой двухподъездной жилой секции (25). Создаётся блокировкой центральных комбинаторных блоков поворотной секции. Метод смены типов ДЖС путем блокировки с другими типами ДЖС (26). Метод создания сетчатой застройки (27).

4. Обсуждение

Первая тема обсуждения: является ли комфортным общественное пространство, созданное в высокоплотной жилой застройке? Проведённые в США исследования на эту тему после кризиса 2008 года выявили удовлетворённость условиями жизни в рассматриваемой застройке. Учитывая неизбежность расширения состава семьи, представляемая методика предоставляет методы изменения количества комнат квартир без изменения конструкций, которые нужно сохранить в разделе проекта «эксплуатация здания» [12]. Вторая тема обсуждения: помогут ли более глубокие исследования разнонаправленных координатных систем появлению новых архитектурных форм, направлений и стилей? Ответом являются несколько реализованных объектов в США и Европе, представленных Питером Айзенманом в книге «Десять канонических зданий. 1950-2000», каждое из которых явилось пионером нового направления в архитектуре 21 века [13]. Объекты, использующие разнонаправленные координатные системы, были объединены в новый архитектурный стиль, названный ранее деконструктивизмом [14]. Стиль был основан не на двух системах координат планиметрии, а на стереометрии с введением более двух систем координат [15]. А на объектах архитектора Френка Гери разнонаправленные системы координат реализовались в складки фасадов зданий [16].

С появлением жилых групп, использующих трёхлучевые разнонаправленные координатные системы, начала изменяться их историческая терминология. В XIX веке – урбан-блоки [2]. Сегодня: фейс-блоки [17, С.23]. Крайний термин подразумевает, что житель с одной стороны двора модуля жилой группы может разглядеть и запомнить лицо человека с противоположной стороны двора. Необходимость создания модулей во время процесса обучения студентов BIM-технологиям при проектировании архитектурных структур и сетчатых пространств из них, высказывается и отечественными учёными [18]. Третья тема обсуждения: какие должны быть оптимальные размеры жилых дворовых пространств в высокоплотной жилой застройке, которые обеспечили бы комфортный социальный микроклимат и нормативную инсоляцию? В условиях XXI века взаимосвязь размеров фейс-блока, этажности, инсоляции и социальной общности должна приобрести свои математические и медицинские социально-психологические обоснования.

5. Заключение

1. Первая проблема – отсутствие инсоляционной градостроительной гибкости в типовых проектах жилых серий решается 27 методами кинетики, основанными на введении трех азимутального комбинаторного шарнирного узла в материнскую жилую секцию трёхлучевой объёмно-планировочной структуры. Эти методы описаны в разделе «2. Методы и материалы» данной статьи.

2. Вторая проблема – отсутствие в Единой системе конструкторской документации (ЕСКД) требований по проектированию в планиметрии объектов, с наличием разнонаправленных систем координат, пересекающих под углом ортогональные оси: «X» и «Y». Проблема решена «Инструкцией», разработанной в момент проектной реновации рассматриваемого жилого квартала. Позиции инструкции разъяснены в разделе «3. Результаты» настоящей статьи. Их необходимо вводить в указанный выше действующий нормативный документ для выполнения задач по проектированию объектов в многолучевых разнонаправленных координатных системах.

3. Третья проблема – отсутствие на заводах стройиндустрии России технологий, выпускающих круглопустотные плиты перекрытий с торцами угловой конфигурации, необходимых для объектов с трёхлучевыми разнонаправленными координатными системами планировки. Проблема решена введением дополнительной оснастки в технологию завода, позволившая выполнить угловые торцы ж/б круглопустотных плит перекрытий.

4. Четвёртая проблема – замена действующей системы утилизации отходов в виде мусоропровода и мусорокамеры в каждой жилой секции на технологию, позволяющую безболезненно изменять типологию квартир. Проблема решена введением в проект реновации квартала измельчителя пищевых отходов – диспоузера.

5. Пятая проблема – вертикальная система отопления типовых проектов жилья, не позволяющая изменять типологию квартир и получать реальные расходы энергоресурсов в них. Проблема решена установкой двухконтурных газовых котлов с поквартирной горизонтальной разводкой системы отопления и горячего водоснабжения, а также системой учёта затрат энергоресурсов.

6. Шестая проблема – действующая система естественной вентиляции жилых секций из блоков железобетона, не позволяющая менять типологию квартир на любом этаже жилой секции. Проблема решена изобретением ригеля «Нуртамаг», упомянутого выше [5, 6]. Ригель устранил абсурдные когнитивные ситуации, решение которых поставлено в виде шестой задачи раздела «1. Введение» настоящей статьи.

Гипотеза настоящего исследования о том, что инсоляционная градостроительная гибкость жилых секций возникает только в применении трёхлучевой объёмно-планировочной структуры, подтвердилась настоящим исследованием, опирающимся на 27 методов кинетики пространств материнской жилой, создающих калейдоскоп необходимых дочерних жилых секции для требуемых секторов инсоляции.

Заключение. Жилая трёхлучевая объёмно-планировочная структура – это система энергоэффективного проектирования, позволяющая создать любую градостроительную композицию жилой застройки. Перспектива использования настоящей методологии - создание в стереометрии графических и геометрических алгоритмов архитектурной кинетики элементов трёхлучевой объёмно-планировочной структуры для будущей компьютерной программы, предназначенной для проектирования многоэтажных зданий различного функционального назначения.

Список библиографических ссылок

1. Глазычев В. Л. Урбанистика. Ч.2. М. : Европа. 2008. 220 с.
2. Создается ощущение гетто // m.lenta.ru: ежедн. интернет-изд. 23.07.2019. URL: https://m.lenta.ru/articles/2019/07/23/urban/ (дата обращения 15.12.2020).
3. Nureev Tagir, Popov Anton. Perspectives for using a three-beam space-planning structure in creating residential grid structure development // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2020. 890. P. 012004. DOI: 10.1088/1757-899X/890/1/012004.

4. A vertical village of living and social spaces integrated with the natural environment // /buro-os.com : сайт архитектора Ole Scheeren. 2004. URL: https://buro-os.com/projects/ the-interlace (дата обращения: 15.12.2020).
5. Zeynep Yeshim Elerisoy. Effects of Height and Plan Geometry on the Costs of Tunnel Form Residential Buildings // Periodica Polytechnica Architecture. 2018. № 49 (1). P. 29–37. DOI: 10.3311/PPar.12384.
6. Принцип неопределённости Гейзенберга. Helpiks.org: интернет-помощник. 2016. URL: https://helpiks.org/7-1348.html (дата обращения 15.12.2020).
7. Пронин Е. С. Теоретические основы архитектурной комбинаторики, М. : Архитектура-С, 2004.
8. Транспозиция // dic.academic.ru: интернет-помощник. 2010. URL: https://dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/201442 (дата обращения: 15.12.2020).
9. Железобетонный каркас с плоским перекрытием : пат 130328 Рос. Федерация. № 2013107051/03 ; заявл. 18.02.13 ; опубл. 20.07.13, Бюл. № 20.
10. Сборный железобетонный каркас : пат 132814 Рос. Федерация. 2013107055/03 ; заявл. 18.02.13 ; опубл. 27.09.13, Бюл. № 27.
11. Всероссийская перепись населения 2010 г. // demoscope.ru : еженед. интернет-изд. 2020. URL: http://www.demoscope.ru/weekly/ssp/rus_hh_10.php (дата обращения: 15.12.20).
12. Yunmi Park. Does new urbanist neighborhood design affect neighborhood turnover? // Ewha Womans University. Land Use Policy 68. 2017. P. 552–562. DOI: 1177/0885412214549422.
13. Питер Айзенман. Десять канонических зданий 1950-2000. М. STRELKA PRESS. 2017. 239. 299 с.
14. Aida Hoteit. Deconstructivism: Translation From Philosophy to Architecture // Lebanese University. January 2015. DOI: 10.3968/7240.
15. Ahmed Ibrahim. Deconstructivism: style, Follies and founders // University of Hail. 2018. DOI: 10.13140/RG.2.2.30449.17765.
16. Sandra Schramke. 3D-Code: Folding in the Architecture of Peter Eisenman // Cluster of Excellence Humboldt-Universitätzu Berlin. 2016. URL: https://www.semanticscholar.org/paper/3-D-Code-%3A-Folding-in-the-Architecture-of-Eisenman/e21afe3ca6cc676515307fbfe9e53b369205fdc6?p2df (дата обращения 17.05.2021).
17. Yunmi Park. Neighborhood Planning Theory, Guidelines, and Research: Can Area, Population, and Boundary Guide Conceptual Framing // Journal of Planning Literature. 2015. 30 (1). DOI: 10.1177/0885412214549422.
18. Sergey Mikhailov. BIM-technologies and digital modeling in educational architectural design // IOP Publishing: IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 890. 2020. 012168. DOI: 10.1088/1757-899X/890/1/012168

Nureyev Tagir Magdanurovich
associate professor
Email: ntm60@mail.ru
Popov Anton Olegovich
candidate of technical sciences, associate professor
Email: a.o.popov@yandex.ru
Kazan State University of Architecture and Engineering
The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1
Nureeva Dinara Tagirovna
lead architect
Email: dinara904@yandex.ru
LLC «Zodchestvo»
The organization address: 420126, Russia, Kazan, Yamashev Avenue, 83, office 01

Methodology for creating a residential three-rayed space- planning structure

Abstract

Problem statement. The purpose of this study is to create a methodology for designing a residential three-rayed space-planning structure for small and medium-rise buildings. The methodology was created for the central and southern insolation zones of Russia in the conditions of sanitary standards of 2017. The methodology is applicable in countries located in both hemispheres of our planet with mirrored conditions of the Russian insolation standards.

Results. A methodology has been developed that creates many types of «daughter» residential sections based on a single «T-shaped» three-rayed residential section, which is called the «mother». The applied result of the research was a method of 27 planimetric methods of architectural combinatorics and kinetics, as well as two patents. The presented method is implemented in Russia: in the renovation of the residential quarter No. 75 of the city of Menzelinsk, Republic of Tatarstan.

Conclusions. The significance of the results obtained for architecture lies in energy-efficient design, expressed in a reduction design time and an increase the types of «daughter» residential sections. The methodology was created for the future computer program for the design of multi-rayed structures of residential buildings of various storeys.

Keywords: «T-shaped» parent residential section, child residential sections, combinatorics, transposition, kinetics, combinatorial block, planimetry, stereometry, energy-efficient design.

For citation: Nureyev T. M., Popov A. O., Nureeva D. T. Methodology for creating a residential three-rayed space- planning structure // Izvestija KGASU. 2021. № 2 (56). P. 147–160. DOI: 10.52409/20731523_2021_2_147.

References

1. Glazychev V.L. Urban studies. Part 2. M . : Europe. 2008. 220 p.
2. The feeling of a ghetto is created // m.lenta.ru: daily. online edition 23.07.2019. URL: https://m.lenta.ru/articles/2019/07/23/urban.
3. Nureev Tagir, Popov Anton. Perspectives for using a three-beam space-planning structure in creating residential grid structure development // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2020. 890. P. 012004. DOI: 10.1088/1757-899X/890/1/012004.
4. A vertical village of living and social spaces integrated with the natural environment // buro-os.com: website of architect Ole Scheeren. 2004. URL: https://buro-os.com/projects/the-interlace (reference date: 15.12.2020).
5. Zeynep Yeshim Elerisoy. Effects of Height and Plan Geometry on the Costs of Tunnel Form Residential Buildings // Periodica Polytechnica Architecture. 2018. 49(1). P. 29–37. DOI: 10.3311/PPar.12384.
6. Heisenberg's uncertainty principle. Helpiks.org: internet assistant. 2016. URL: https://helpiks.org/7-1348.html (reference date: 15.12.2020).
7. Pronin E. S. Theoretical foundations of architectural combinatorics. M. : Architecture-S, 2004. 234 p.
8. Transposition // dic.academic.ru: internet assistant. 2010. URL: https://dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/201442 (reference date: 15.12.2020).
9. Reinforced concrete frame with a flat floor: pat 130328 Ros. Federation. № 201 3107051/03 ; declared 18.02.13 ; published 20.07.13, Bul. № 20.
10. Precast reinforced concrete frame : pat 132814 Ros. Federation. 2013107055/03 ; declared on 18.02.13 ; published on 27.09.13, Bul. № 27.
11. All-Russian Population Census 2010 // demoscope.ru : weekly internet publishing house 2020. URL: http://www.demoscope.ru/weekly/ssp/rus_hh_10.php (reference date: 15.12.20).

12. Yunmi Park. Does new urbanist neighborhood design affect neighborhood turnover? // Ewha Womans University. land use policy 68. 2017. P. 552–562. DOI: 1177/0885412214549422.
13. Peter Eisenman. Ten canonical buildings 1950-2000. M. STRELKA PRESS. 2017. 239-299 p.
14. Aida Hoteit. Deconstructivism: Translation from Philosophy to Architecture // Lebanese University. January 2015. DOI: 10.3968/7240.
15. Ahmed Ibrahim. Deconstructivism: style, Follies and founders // University of Hail. 2018. DOI: 10.13140/RG.2.2.30449.17765.
16. Sandra Schramke. 3D-Code: Folding in the Architecture of Peter Eisenman // Cluster of Excellence Humboldt-Universitätzu Berlin. 2016. URL: https://www.semanticscholar.org/paper/3-D-Code-%3A-Folding-in-the-Architecture-of-Eisenman/ e21afe3ca6cc6765153 07fbfe9e53b369205fdc6?p2df (reference date: 17.05.2021).
17. Yunmi Park. Neighborhood Planning Theory, Guidelines, and Research: Can Area, Population, and Boundary Guide Conceptual Framing // Journal of Planning Literature. 2015. № 30 (1). DOI: 10.1177/0885412214549422.
18. Sergey Mikhailov. BIM-technologies and digital modeling in educational architectural design // IOP Publishing: IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2020. № 890. P. 012168. DOI: 10.1088/1757-899X/890/1/012168.

УДК 725
Петрова Мария Михайловна
архитектор
Email: mashapetrovakgasu1@mail.ru
АО «Казанский Гипронииавиапром» им. Б.И. Тихомирова
Адрес организации: 420127, Россия, г. Казань, ул. Дементьева, д. 1
Хафизов Ринат Рашитович
старший преподаватель
Email: rrhafizov@gmail.com
Казанский государственный архитектурно-строительный университет
Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1

Принципы формирования функциональной и архитектурно-планировочной структуры учреждений для детей-сирот

Аннотация

Постановка задачи. В данном исследовании проанализированы положительные примеры реализованных учреждений для детей-сирот в границах пяти стран: Россия, Дания, Германия, Франция, США. Изучена их функциональная и архитектурно-планировочная структура с целью разработки принципов проектирования и выделена основная типологическая классификация современных учреждений.

Объект исследования – современные учреждения для детей-сирот, реализованные в Российской Федерации и за рубежом. Предмет исследования – функциональные и архитектурно-планировочные решения учреждений для детей-сирот в границах пяти стран – Россия, Дания, Германия, Франция и США.

Цель исследования – разработать принципы по формированию функциональной и архитектурно-планировочной структуры учреждений для детей-сирот, которые помогут подготовить ребенка к самостоятельной жизни, сформировать его личные качества и профессиональные навыки.

Задачи исследования: изучить отечественный и зарубежный опыт проектирования учреждений для детей-сирот; сформировать основные принципы функциональной и архитектурно-планировочной структуры учреждений для детей-сирот; составить типологическую классификацию этих учреждений.

Результаты. В результате анализа отечественного и зарубежного опыта проектирования учреждений для детей-сирот выявлены основные принципы функциональной и архитектурно-планировочной структуры и составлена типологическая классификация современных учреждений.

Выводы. Проанализированы сформированные задачи и выявлены теоретические основания для последующих исследований и реализации в данной проектной деятельности.

Ключевые слова: архитектурно-планировочная структура, детский дом, детский дом семейного типа, школа-интернат, дети-сироты, зарубежная архитектура, отечественная архитектура.

Для цитирования: Петрова М. М., Хафизов Р. Р. Принципы формирования функциональной и архитектурно-планировочной структуры учреждений для детей-сирот // Известия КГАСУ. 2021. № 2 (56). С. 161–172. DOI: 10.52409/20731523_2021_2_161.

1. Введение

Одним из ключевых показателей социального благополучия любой страны является отношение к наименее защищенным слоям населения: к пожилым людям, инвалидам и детям, а также создание равноценных условий для их жизнедеятельности [1]. В особенности отношение к детям-сиротам и детям, оставшихся без попечения родителей, которые нуждаются в особой заботе государства [2, 3].

В соответствии с статистическими сведениями, число детей-сирот и детей, оставшихся без попечения родителей продолжает расти. Дети, выросшие в государственных учреждениях, которые далеки от совершенства, часто повторяют судьбу родителей. Выйдя из этих учреждений, многие подростки не находят достойного места в жизни [4].

Тем самым, внимание к проблемам детей-сирот и выпускников детских домов и интернатов становится все более пристальным, так как ситуация социальной дезадаптации с каждым годом становится все острее. Так как, выпускник детского дома воспринимается не только как объект социальной защиты населения, но и как категория людей, которая представляет собой проблемную группу [5]. На сегодняшний день детей-сирот можно рассматривать как социальную группу с неадекватной эмоциональной, психологической и социальной защищенностью. Детям-сиротам трудно построить отношения со взрослыми и сверстниками, адаптироваться в жизни [6, 7].

Для того, чтобы ввести детей-сирот в самостоятельную жизнь, приобщить к общественным нормам и ценностям, необходимо создать определенную социально-психологическую и функциональную среду жизнедеятельности [3]. Для этого современные учреждения для детей-сирот должны представлять собой объекты многофункционального назначения, в которых присутствуют разные функции: воспитание, содержание, обучение, профессиональная подготовка, социализация и опека детей.

Отечественные учреждения для детей-сирот имеют ограниченный функциональный набор услуг, очень часто находятся в не предназначенных для этих учреждений зданиях [8]. В настоящее время основными видами учреждений являются дома ребенка, детские дома, детские дома-школы, детские дома-интернаты, школы-интернаты общего типа, в том числе школы-интернаты для детей-сирот и детей, оставшихся без попечения родителей, а также как школы-интернаты для детей с ограниченными возможностями. [9]. В данном исследовании проанализированы единичные положительные примеры учреждений для детей-сирот, такие как специализированные школы, предназначенные для проживания, воспитания детей и подростков, образовательные комплексы, детские дома, детские деревни – SOS [9, 10].

Зарубежная архитектура таких учреждений предполагает многофункциональный объект, способствующий развитию и социализации. В Дании и США дети-сироты сразу устраиваются в семью, либо в детский дом семейного типа. Учреждения для детей-сирот в Германии располагаются между системой социальной защиты государства и самостоятельным определением. Чаще всего это детские дома семейного типа или объект религиозного значения. [11, 12]. Система детских учреждений во Франции отличается своей институционализацией, на которую обзор дает А. Вильсон. Учреждения превратились в крупные комплексы – multi-accueil.

Таким образом, цель исследования – разработать принципы и рекомендации по формированию функционально-планировочной структуры учреждений для детей-сирот, которые помогут подготовить ребенка к самостоятельной жизни и сформировать его личность.

Задачи исследования:

1) Изучить отечественный и зарубежный опыт проектирования учреждений для детей-сирот;

2) Сформировать основные принципы функциональной и архитектурно-планировочной структуры учреждений для детей-сирот;

3) Составить типологическую классификацию этих учреждений.

2. Материалы и методы

Исследование выполнено на основе 10 реализованных учреждений для детей-сирот, такие как детские дома, детские дома семейного типа, специализированные школы, образовательные комплексы, детские деревни – SOS, а также другие объекты образования,

системы воспитания и социальной защиты, в пяти странах: Россия, Дания, Германия, Франция и США. Также, исследование основано на анализе нормативной литературы, литературных научно-аналитических источников и материалов исследования, посвященных социальным, функциональным и архитектурно-планировочным проблемам воспитания и обучения детей-сирот и детей, оставшихся без попечения родителей; анализа архитектурно-планировочных решений; поисковое проектирование.

Способом получения научного результата послужил метод сравнительного анализа функциональных и архитектурно-планировочных достоинств учреждений для детей-сирот, типологических особенностей объектов, а также для решения поставленной цели использовались теоретические методы: изучение литературы по теме исследования (проектной, социологической, исторической).

Материалы исследования в данной статье представляют собой планы, генеральные планы и архитектуру существующих отечественных и зарубежных учреждений для детей-сирот.

В отечественном опыте проектирования материалами для исследования являются следующие учреждения (табл.):

- школа-интернат, Кожухово, город Москва, 2007, ATRIUM [9];
- образовательный комплекс «Точка будущего», город Иркутск, 2020, CEBRA;
- Канский детский дом им. Ю.А. Гагарина, 1956 [10];
- детская деревня – SOS в подмосковном Томилино, Москва, 1996.

Материалы зарубежного опыта проектирования учреждений для детей-сирот представлены в виде следующих учреждений (табл.):

- детский дом будущего в городе Кертеминн, Дания, 2014, CEBRA;
- детский дом Джозефины Крамер в Теттнанге в Баден-Вюртемберге, 2014, Германия [11];
- детский дом Св. Регисвинда в Герольцхофене для католического церковного объединения Марии из Розенкранца, Бавария, Германия [12];
- детский дом в парке Ридля, Германия, 2013, Lanz-Schwager Architekten [13];
- комплекс Maison de l’enfance (Дом детства), Франция, 2016, NOMADE Architectes;
- жилой комплекс под ведомством лютеранской церкви Джетсеман, Сиэтл, Вашингтон, США, 2012 [14].

3. Результаты

В большинстве случаев отечественный опыт проектирования учреждений для детей-сирот представляет собой перепрофилированные здания, построенные еще в Советском Союзе. Специализированные учреждения необходимы для оказания социальной, психологической и медицинской помощи детям, оказавшимся в трудной жизненной ситуации. Но большинство существующих учреждений устарели, необходимо разработать новые учреждения для детей-сирот. В результатах приведены положительные примеры таких учреждений, которые позволят пересмотреть их функциональную и архитектурно-планировочную организацию [15].

С начала XX века в России наметилась тенденция к экспериментальному целенаправленному проектированию учреждений для детей-сирот. Примером может служить школа-интернат, Кожухово, город Москва. Специализированная школа предназначена для проживания, воспитания детей и подростков, имеющих отклонения в психическом развитии. Основной целью этого проекта было создание полнофункциональной, высокоинформативной, разнообразной среды для детей, сочетающей ландшафтную среду и внутреннее пространство [9].

Реализованный проект демонстрирует полноценную среду обитания, небольшой город, который содержит разные функциональные зоны. На территории расположены 5 корпусов. Имеются три жилых блока, школа с большой столовой, медицинский центр, спортивный комплекс, административное здание и галерея между корпусами. Композиция школы-интерната связана с особенностями инсоляции и наполняет здание естественным светом, объединяет все блоки в единый архитектурный ансамбль.

Территория комплекса является «городом под крышей». Центром композиции является атриум, откуда видны все общественные зоны. Располагающийся здесь зимний сад позволяет трактовать данное пространство как внутренний двор, продолжающий внешнее окружение [9]. Школа содержит общественные помещения, учебные классы, спальни, актовый зал, бассейн и комнаты для игр. В медицинском блоке есть процедурные кабинеты и комнаты для врачей. Школа рассчитана на 110 человек и имеет общую площадь школы 11000 м^2.

Также в России есть частные благотворительные программы для детей-сирот и детей, оставшихся без попечения родителей. Основным примером может послужить образовательный комплекс «Точка будущего» в городе Иркутск, расположенный на площади более 20 гектаров и состоящий из 27 зданий. Комплекс реализован по архитектурной концепции датской компании CEBRA и адаптирован под сибирские условия российской компанией UNK project.

Главная цель проекта – обучение и адаптация детей-сирот вместе с ровесниками из полных семей. В образовательном комплексе разместились 5 корпусов: детский сад, младшая школа (с 1-го по 6-й класс), старшая школа (с 7-го по 11-й класс), спортивный и административный комплекс. Недалеко от комплекса построен коттеджный посёлок для родителей приёмных детей, состоящий из двухэтажных блокированных и отдельных жилых домов. Поселок рассчитан на 30 домов – 150 ребят из приемных семей.

Образовательный комплекс рассчитан на 1022 учащихся и состоит из общественных многофункциональных мобильных пространств. То есть, нет ни одного пространства, которое подходило бы только под одну функцию, помещения можно перестраивать под разные сценарии. В здании преобладают светлые пространства – панорамные окна, прозрачные перегородки, нет стандартных изолированных кабинетов и длинных коридоров.

Образовательная программа разработана индивидуально под каждого ребенка и включает мастерские гончарного дела, робототехники, растениеводства (теплицы и цветники), также в комплексе есть бассейн, центр психологической поддержки, библиотека, амфитеатр, хозяйственные корпуса, велодорожки и футбольное поле, которое зимой является катком.

Форма комплекса организована в виде футуристического проницаемого кольца зданий, который включает основные функции. Здание комплекса двухэтажное и соединено крышей со сложной конфигурацией. Стены выполнены в монолитном железобетоне. Облицовка фасада выполнена из прочного антивандального материала – фиброцемента.

Еще одним положительным примером является Канский детский дом им. Ю.А. Гагарина. Данный дом является необычным примером, так как воспитанников, помимо проживания и стандартного общеобразовательного обучения, учат профессиональным стандартам и финансово-хозяйственной деятельности, знакомят их с профессиями, которые в будущем могут помочь им адаптироваться в обществе. В детском доме проживают 104 воспитанника [10].

Одной из популярных форм опеки над детьми в России считаются детские деревни – SOS. Детские деревни – SOS – крупная благотворительная организация по поддержке детей-сирот и детей, оставшихся без попечения родителей, существующая в России уже 25 лет.

Рассмотрим одну из главных деревень в России – Детская деревня – SOS в подмосковном Томилино. В данной деревне сейчас живет несколько десятков человек. Коттеджи расположились всего в 500 м от местной ж/д станции.

Деревня открыта для всех людей, движение детей не ограничено заборами, они могут свободно заходить и выходить. Главный принцип – у ребенка должен быть родитель и место, где он чувствует себя в безопасности. Обычная SOS-семья – это мама и несколько приемных детей. Временами здесь живут полные семьи, которые берут на воспитание нескольких детей.

В данной деревне есть 12 жилых двухэтажных домов, дом управляющего, общественный центр, дом для обслуживающего персонала, хозяйственный блок, игровые

площадки. Каждый дом состоит из двух этажей с чердачным пространством под крышей, имеет собственный небольшой участок земли. На первом этаже дома располагается прихожая, кухня, зал вместе со столовой, спальня, санузел с душевой. На втором этаже 4 детских спальни, два санузла, душевые и ванная комната. Каждый дом рассчитан на 8-9 человек. Все дома выполнены из кирпича и черепичной крыши, панорамные окна, что дает каждому дому много света и пространства.

Зарубежный опыт отличается от отечественного и имеет разнообразную типологическую структуру, многофункциональный набор услуг и отличается хорошими объемно-планировочными решениями, которые создают полноценную многообразную среду обитания. В большинстве случаев специализированные учреждения для детей-сирот за рубежом представляют собой дома семейного типа. Проанализированы положительные реализованные проекты для детей-сирот в Дании, Германии, Франции и США.

Детские дома в Дании сильно отличаются от отечественных. Ярким примером является реализованный Детский дом будущего в городе Кертеминн.

Общая площадь комплекса составляет 1500 м^2. Детский дом представляет собой традиционный облик для датских домов и отлично вписывается в окружающую среду. Двускатная кровля и различные мансардные окна показывают каким должен быть детский дом в современном мире. Комплекс создан из разных по размеру «домов», фасад сделан из дерева и терракотовой плитки. Небольшой масштаб «домов» отлично воздействует на психику ребенка, дает ощущение безопасности и вписывается в жилую застройку.

В детском доме могут воспитываться 4 возрастные группы, а также каждая группа имеет свой «дом». Жилые блоки направлены к игровой площадке и саду, для старших детей – на улицу. Взрослые воспитанники могут свободно проводить время в городе со своими друзьями, тем самым ощущать себя как «дома». Все этажи предназначены для использования воспитанников, а хозяйственно-административные блоки располагаются в подвале.

В Германии архитектура учреждений для детей-сирот представляет собой положение между системой социальной защиты государства и самостоятельным определением.

После Второй мировой войны утверждается принцип воспитания детей с приемной матерью (с матерью-воспитательницей). Данный принцип приближает детей к семейной атмосфере, такая модель воспитания получает дальнейшее развитие в Федеративной Республике Германии. В ее базу легли педагогическая система Марии Монтессори и предложения ученого Рудольфа Штайнера. Антиподом данной модели является система воспитания детей государства в идеалах социалистического общества и предоставление большого количества мест в яслях и детских садах.

Чаще всего учреждения для детей-сирот в Германии представляют собой детские дома семейного типа. К примеру, многофункциональный объект – городской детский дом Джозефины Крамер в Теттнанге в Баден-Вюртемберге в Германии [11]. Учреждение располагается напротив храма, с одной стороны ограничено садом и с трех других сторон улицами. Детский дом относится к галерейно-коридорному типу. Функциональное зонирование здания разделено на два этажа. На первом этаже размещаются общественные помещения и столовая. Второй этаж состоит из пяти жилых блоков, групповых комнат для игр с балконами и лоджиями.

Объект представляет собой равномерную композицию, отделан клинкерной плиткой. Сооружение имеет скатную крышу с разным уклоном и обширные оконные проемы.

Также детский дом семейного типа может быть объектом религиозного значения. Например, детский дом Св. Регисвинда в Герольцхофене в Баварии для католического церковного объединения Марии из Розенкранца.

Комплекс состоит из двухэтажных домов, которые соединены в одну деревню. Всего на территории четырнадцать таких домов, которые распределены на восемь групп: группа раннего развития, три группы по расписанию и несколько групп для маленьких детей [12]. Все общие комнаты для группового пребывания имеют инсоляцию и выходы на террасу или сад. У центра комплекса находится зал тишины – религиозная капелла. Все дома

соединены коридором и имеют выход в общественную часть. Каждый дом-блок содержит игровые комнаты, детские спальни и туалеты. Внешняя отделка дома выполнена из светлого дерева, как и интерьер. Крыши домов-блоков двускатные [12].

В условиях городской территории детский дом семейного типа может стать частью парка. К примеру, проект городского конкурса на строительство детского дома в парке Ридля (Baden-Württemberg, Friedrichshafen, Riedlepark, 2013, арх. Lanz-Schwager Architekten (Konstanz)) [13].

Учреждение включает в себя восемь групп детей разного возраста: одна группа яслей (от нуля до трех лет), четыре группы смешанного возраста, детский сад с тремя группами (от трех до шести лет). Объемно-планировочная структура детского дома разделена на четыре части, каждая из которых делится по функции на блоки по две группы [13].

Система детских учреждений во Франции отличается своей институционализацией, на которую обзор дает А. Вильсон. Учреждения можно разделить на две основные группы: ясли – детские сады и «материнские школы» – детские сады/начальные школы. С 1986 года распространяется модель коллективных яслей, которая включает в себя три группы для детей разного возраста, каждая из которых состоит из двух групп – unités de vie (жилых единиц), архитектурно решавшаяся как центральное общественное пространство (атриум) и индивидуальные помещения. Позже модель трансформировалась к типовому многофункциональному решению, которую архитекторы прозвали как «машину», содержащую в себе только одну функцию. К 2000-м годам данная модель преобразовалась в проектирование крупных учреждений – multi-accueil.

Ярким образцом нового типа детских учреждений является комплекс Maison de l'enfance (Дом детства). Учреждение включает в себя: Crèche – ясли, Haltegarderie – группу кратковременного пребывания детей, Ludothèque – игровой комплекс и Centre PMI – центр матери и ребенка. Проект выполнили NOMADE Architectes. Построен он в 2016 году, площадь составляет 1200 кв. м. Также на территории комплекса есть семейные дома, медицинское учреждение для наблюдения за детьми и проверки, место отдыха для опекунов, место для регистрации (приема) детей и родителей.

Комплекс отлично вписывается в окружающую среду за счет материалов и интеграции в ландшафт. Здание организовано функционально и разделено на две части – центральный вестибюль и функциональные блоки. Функциональные блоки включают в себя несколько приемных, детскую, администрацию, общественное пространство и напоминают небольшие дома, составленные в деревню вокруг дороги. Комплекс спроектирован с учетом экологических и образовательных учреждений. Небольшие внутренние дворы контролируют температуру домов с помощью воздухозаборника, что обеспечивает вентиляцию всего комплекса. Также отличительным компонентом являются солнечные панели в плитке домов, площадью 20 м^2.

Существующая система патронатного воспитания в Америке не помогает детям-сиротам стать независимыми в современном обществе. Исследования указывают на плохую адаптацию приемных детей-сирот в семье и в школьных учреждениях. Многие дети нуждаются в государственной помощи, так как у них нет постоянного дома и положительного образца для подражания. Многие американцы считают, что необходимо вернуть детские дома, в качестве современного многофункционального учреждения, которое обеспечит стабильную среду, даст образование и возможность дальнейшего развития [16].

Положительным образцом детского дома в Америке может послужить объект религиозного назначения - многофункциональный социально ориентированный жилой комплекс под ведомством лютеранской церкви Джетсеман, Сиэтл, Вашингтон, США [14].

Здание включает в себя семь этажей, содержит церковь и часовню, жилье на верхних этажах, социальные услуги и небольшой сад. Несколько этажей отведено под социальный центр для бесприютных женщин и детей. Важной частью данного здания является свет, который выделяет духовные пространства. Остекление нижних этажей сделано из мозаики цветного и полупрозрачного стекла. Апартаменты здания содержат квартиры-студии, двухкомнатные и однокомнатные квартиры [14].

Таблица

Типологическая классификация современных учреждений для детей-сирот, на основе зарубежного и отечественного опыта проектирования

Тип учреждения по уровню обслуживания	Название и назначение учреждения	Объемно-пространственная модель	Тип объекта
Учреждение с полным циклом обслуживания	Учреждения малого типа: Дом ребенка; Социальный приют; Детский дом; Детский дом-интернат	Учреждение – «здание»	- Детский дом им. Ю. А. Гагарина, Россия (монофункциональный объект); - Городской детский дом Джозефины Крамер, Германия (многофункциональный); - Детский дом в парке Ридля, Германия (многофункциональный).
	Учреждения крупного типа: Школа-интернат; Детский дом-школа; Многопрофильный социально-реабилитационный центр	Учреждение – «здание» Учреждение – «комплекс»	- Детский дом, Дания (многофункциональный); - Школа-интернат, Россия (многофункциональный); - Образовательный комплекс, Россия (полифункциональный).
Учреждения с минимальным обслуживанием	Детская деревня; Детский городок; Негосударственные приюты	Учреждение - «поселение»	- Детская деревня – SOS, Россия (монофункциональный объект).
Учреждения с Самообслуживанием	Семейный детский дом	Учреждение – «дом»: - индивидуальный - встроенный	- Детский дом Св. Регисвинда, Германия (многофункциональный); - Комплекс Maison de l’enfance (Дом детства), Франция (многофункциональный); - Детский дом семейного типа, США (многофункциональный).

В результате анализа отечественного и зарубежного опыта проектирования учреждений для детей-сирот были сформированы основные принципы функциональной и архитектурно-планировочной структуры:

1. Территориально-градостроительные:

- расположение объекта в открытой структуре города (взаимосвязь с окружающей социальной средой);

Учреждения для детей-сирот необходимо располагать в селитебной зоне. Так же рядом должны располагаться общеобразовательные школы, больницы/поликлиники и образовательные центры/кружки с учетом радиуса пешеходной доступности.

- объединение с окружающей средой (интеграция);

- разнообразие ландшафта (ландшафт вокруг застройки формирует особую среду, проникая внутрь объекта).

2. Функционально-планировочные:

- объемно-пространственная организация помещений (жилой дом, жилой блок/группа, жилая комната);

- система модулей/функционально-планировочное зонирование (разделение зон на жилые, общественные, воспитательные и др.);

Для формирования планировочного решения определяется оптимальный функциональный состав объектов изучаемого типа на основе функциональной блок-схемы, где все помещения разбиваются на несколько модулей, в каждом из которых присутствует деление помещений по функциям. Каждый модуль позволяет заниматься своей функцией.

- полифункциональная структура объекта (включение дополнительных функций, способствующих ранней профессионализации детей-сирот).

3. Архитектурно-композиционные:

- принцип адаптивности (соответствие современным условиям);

- взаимосвязь внутренних и наружных пространств;

- интерьер как среда (интерьер отвечает на многообразие объекта и формирует общественные места, которые подчеркивают уникальность объекта).

Данные принципы помогут сформировать особую среду, которая позволит подготовить ребенка к самостоятельной жизни, сформировать его личные качества и профессиональные навыки.

Также составлена типологическая классификация современных учреждений для детей-сирот (табл.), которая сформирована на основе отечественного и зарубежного опыта проектирования. По функциональной структуре учреждения для детей-сирот делятся на три типа: монофункциональные, многофункциональные и полифункциональные объекты. Монофункциональный объект – отдельно стоящее автономное здание (только функция детского дома). К многофункциональным объектам относятся учреждения в составе целого комплекса (жилая, общественная, образовательная функции). Полифункциональный объект («поли-» – «многочисленный») обозначает новую типологию учреждений для детей-сирот, который дополнен новыми функциями для социализации и ранней профессионализации детей-сирот и детей, оставшихся без попечения родителей.

4. Обсуждение

Следует отметить, что, несмотря на положительные примеры учреждений для детей-сирот в данной статье, проблемы растущего количества детей-сирот и состояние детских домов остаются по-прежнему актуальными [8].

Среда детских домов не соответствует стандартам во многих отношениях, включая медицинское обслуживание, питание, санитарию, перенаселенность, ограниченную функцию учреждения, социальное и эмоциональное насилие, множественную смену опекунов. Формирование современной функциональной и архитектурно-планировочной среды учреждения может развить ребенка и сформировать его личность [17].

5. Заключение

В результате проведенного исследования выполнены следующие задачи:

1. Изучен опыт проектирования учреждений для детей-сирот в таких странах как Дания, Германия, Франция и США, который позволит сформировать теоретические основания для последующих исследований и реализации в отечественную проектную деятельность;

2. Сформированы основные принципы функциональной и архитектурно-планировочной структуры учреждений, которые выявляют особенности современной концепции в организации данных объектов, способствующих полноценному функционированию рассматриваемых учреждений для детей-сирот и детей, оставшихся без попечения родителей.

3. Составлена типологическая классификация учреждений для детей-сирот, которая позволит разработать объект нового типа и дополнить его новыми функциональными и архитектурно-планировочными пространствами для образовательного процесса и ранней профессионализации детей-сирот и детей, оставшихся без попечения родителей.

На основе изученного опыта проектирования учреждений для детей-сирот и составленных принципах можно сформулировать новую концепцию развития современного учреждения для детей-сирот, которая даст возможность спроектировать среду для полноценного развития детей-сирот и детей, оставшихся без попечения родителей, подготовить их к самостоятельной жизни, сформировать их личные качества и профессиональные навыки. Результаты анализа представленного исследования позволят сконструировать теоретическую и проектную базу для следующих исследований, а также создать концептуальные принципы для организации учреждений для детей-сирот.

Список библиографических ссылок

1. Короткова С.Г. Проектирование универсальной среды с использованием специальных средств доступности для маломобильных людей // Architecture and Modern Information Technologies. 2020. №1(50). С. 154–164. DOI: 10.24411/1998-4839-2020-15010
2. Бобылева И. Развитие социально-педагогической поддержки в российских учреждениях для детей-сирот // Процедуры-социальные и поведенческие науки. 2015. т. 214. С. 535–543. DOI: 10.1016/j.sbspro.2015.11.757
3. Дутова О. В. Опыт социального воспитания подростков-выпускников интернатных учреждений средствами социально-культурной деятельности // ЧиО. 2011. № 1.
4. Валеева Р. А., Калимуллин А. М. Социальное сиротство в России: исторические предпосылки, настоящее и перспективы // Процедуры – социальные и поведенческие науки. 2015. т. 191. С. 2122–2126. DOI: 10.1016/j.sbspro.2015.04.147.
5. Солдатова А. А., Трухачева Г. А. Возможные пути решения архитектурно-планировочной структуры детских домов в среде центра крупнейшего города // SCI-ARTICLE. 2017. № 14 (14). С. 7–13.
6. Донцов А. И., Перелыгина Е. Б., Веракса А. Н. Проявление аспектов доверия у детей-сирот и детей // Процедуры - социальные и поведенческие науки. 2016. т. 233. С. 18–21. DOI: 10.1016/j.sbspro.2016.10.117.
7. Зотова О. Ю., Тарасова Л. В., Сюткина Е. Н. Особенности субъективного благополучия подростков, воспитывающихся в неполных семьях и детских домах // Процедуры - социальные и поведенческие науки. 2016. т. 233. С. 160–164. DOI: 10.1016/j.sbspro.2016.10.185.
8. Потиенко Н. Д. Архитектура специализированных зданий для детей-сирот// Вестник СГАСУ. Градостроительство и архитектура. 2014. Вып. № 4(17). С. 29-33
9. Вавилова Т. Ю., Потиенко Н. Д., Жданова И. В. О модернизации объектов капитального строительства в контексте устойчивого развития социальной сферы // Процедурная инженерия. 2016. т. 153. С. 938-943. DOI: 10.1016/j.proeng.2016.08.257.
10. Канский детский дом им. Ю. А. Гагарина // URL: https://acvariys.ru/.
11. Neubau Kinderhaus – Haus Josefine Kramer in Tettnang // WA (Wettbewerbe aktuell). 2014. № 9. P. 71–73.
12. Ein ganzes Dorf. Kinderhaus St. Regiswind, Gerolzhofen // DBZ (Deutsche BauZeitschrift). 2016. №5. Bauen für Kinder. P. 40–45.
13. Kinderhaus im Riedlepark in Friedrichshafen // WA (Wettbewerbe aktuell). 2014. № 2. P. 72–73.
14. Gonchar J. Mission Statement // Architectural Record. 2013. № 7. Food. P. 128–130.
15. Потиенко Н. Д. Дети-сироты в условиях современного Российского общества. Пути решения проблемы проживания // Градостроительство и архитектура. 2014. Т. 4. № 3. С. 37–40. DOI: 10.17673/Vestnik.2014.03.7.

16. Аллен С. Б., Вакка С. Дж. Вернуть приюты - альтернатива патронатному воспитанию? // Обзор услуг для детей и молодежи. 2011. т. 33. С. 1067–1071. DOI: 10.1016/j.childyouth.2011.01.013
17. Группа исследователей детских домов Санкт-Петербург – США. Характеристика детей, воспитателей и детских домов для детей раннего возраста в Санкт-Петербурге, Российская Федерация // Журнал прикладной психологии развития. 2005. т. 26. С. 477–506. DOI: 10.1016/j.appdev.2005.06.002

Petrova Maria Mikhailovna
architect
E-mail: mashapetrovakgasu1@mail.ru
JSC «Kazan Giproniiaviaprom»
The organization address: 420127, Russia, Kazan, Dementiev st. 1
Khafizov Rinat Rashitovich
senior lecturer
Email: rrhafizov@gmail.com
Kazan State University of Architecture and Engineering
The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st.,1

Principles of formation of the functional and architectural-planning structure of institutions for orphans

Abstract

Problem statement. This study analyzes positive examples of implemented institutions for orphans within five countries: Russia, Denmark, Germany, France, USA. Their functional and architectural-planning structure is studied in order to develop design principles and the main typological classification of modern institutions is highlighted.

The object of the research is modern institutions for orphans implemented in the Russian Federation and abroad.

The subject of the research is functional and architectural and planning solutions of institutions for orphans within the boundaries of five countries - Russia, Denmark, Germany, France and the United States.

The purpose of the study is to develop principles and recommendations for the formation of a functional planning structure of institutions for orphans, which will help prepare a child for an independent life and shape his personality.

Research objectives: to study the domestic and foreign experience of designing institutions for orphans; to form the basic principles of the functional and architectural-planning structure of institutions for orphans; draw up a typological classification of these institutions.

Results. As a result of the analysis of domestic and foreign experience in designing institutions for orphans, the main principles of the functional planning structure have been identified and typological classification of modern institutions has been drawn up.

Conclusions. Recommendations for the creation of institutions for orphans have been formulated and theoretical foundations for further research and implementation in this project activity have been identified.

Keywords: architectural and planning structure, orphanage, family-type orphanage, boarding school, orphans, foreign architecture, domestic architecture.

For citation: Petrova M. M., Khafizov R. R. Principles of Formation of the Functional and Architectural-Planning Structure of Institutions for Orphans // Izvestija KGASU. 2021. № 2 (56). P. 161–172. DOI: 10.52409/20731523_2021_2_161.

References

1. Korotkova S. G. Designing a universal environment using special accessibility tools for low-mobility people / Architecture and Modern Information Technologies. 2020. № 1 (50). P. 154–164. DOI: 10.24411/1998-4839-2020-15010.
2. Bobyleva I. Development of Social and Educational Support in Russian Institutions for Orphans // Procedia – Social and Behavioral Sciences. 2015. Vol. 214. P. 535–543. DOI: 10.1016/j.sbspro.2015.11.757
3. Dutova O. V. Experience of social education of adolescents-graduates of boarding schools by means of social and cultural activities // ChiO. 2011. № 1.
4. Valeeva R. A., Kalimullin A. M. Social Orphanhood in Russia: Historical Background, Present and Perspective // Procedia - Social and Behavioral Sciences. 2015. vol. 191. P. 2122–2126. DOI: 10.1016/j.sbspro.2015.04.147.
5. Soldatova A. A., Trukhacheva G. A. Possible ways to solve the architectural and planning structure of orphanages in the environment of the center of the largest city // SCI-ARTICLE. 2017. № 14 (14). P. 7–13.
6. Dontsov A. I., Perelygina E. B., Veraksa A. N. Manifestation of Trust Aspects with Orphans and Non-orphans // Procedia – Social and Behavioral Sciences. 2016. vol. 233. P. 18–21. DOI: 10.1016/j.sbspro.2016.10.117.
7. Zotova O. Y., Tarasova L. V., Syutkina E. N. Features of Subjective Well-being Characteristic of Teenagers Raised in Two-Parent Families and Orphanages // Procedia – Social and Behavioral Sciences. 2016. Vol. 233. P. 160–164. DOI: 10.1016/j.sbspro.2016.10.185.
8. Potienko N. D. Architecture of specialized buildings for orphans // Vestnik SGASU. Urban planning and architecture. 2014. № 4 (17). P. 29–33
9. Vavilova T. Y., Potienko N. D., Zhdanova I. V. On Modernization of Capital Construction Projects in the Context of Sustainable Development of Social Sphere // Procedia Engineering. 2016. vol. 153. P. 938-943. DOI: 10.1016/j.proeng.2016.08.257.
10. Kansk orphanage them. Yu. A. Gagarin // URL:https://acvariys.ru/.
11. Neubau Kinderhaus – Haus Josefine Kramer in Tettnang // WA (Wettbewerbe aktuell). 2014. № 9. P. 71–73.
12. Ein ganzes Dorf. Kinderhaus St. Regiswind, Gerolzhofen // DBZ (Deutsche BauZeitschrift). 2016. № 5. Bauen für Kinder. P. 40–45.
13. Kinderhaus im Riedlepark in Friedrichshafen // WA (Wettbewerbe aktuell). 2014. № 2. P. 72–73.
14. Gonchar J. Mission Statement // Architectural Record. 2013. №7. Food. P. 128–130.
15. Potienko N. D. Orphans in the conditions of modern Russian society. Ways of solving the problem of living // Urban planning and architecture. 2014.V.4. № 3. P. 37–40. DOI: 10.17673/ Vestnik.2014.03.7
16. Allen S. B., Vacca S. J. Bring back orphanages – An alternative to foster care? // Children and Youth Services Review. 2011. Vol. 33. P. 1067–1071. DOI: 10.1016/ j.childyouth.2011.01.013
17. The St. Petersburg–USA Orphanage Research Team. Characteristics of children, caregivers, and orphanages for young children in St. Petersburg, Russian Federation // Journal of Applied Developmental Psychology. 2005. Vol. 26. P. 477–506. DOI: 10.1016/j.appdev.2005.06.002.

ПРАВИЛА ПРЕДСТАВЛЕНИЯ СТАТЕЙ ДЛЯ ПУБЛИКАЦИИ В НАУЧНОМ ЖУРНАЛЕ «ИЗВЕСТИЯ КАЗАНСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНОГО УНИВЕРСИТЕТА»

Статья должна быть набрана в программе Microsoft Word (версия не ранее MS Word 97). Файл, названный именем автора статьи, представить с расширением RTF.

Параметры страницы:

- размер страницы – 297×210 мм (формат А4);
- поля: сверху – 20 мм, снизу – 20 мм, слева – 30 мм, справа – 30 мм;
- ориентация страницы – книжная.

Параметры форматирования текста:

- шрифт – Times New Roman;
- размер шрифта – 11 пт;
- абзацный отступ – 10 мм (не задавать пробелами);
- выравнивание – по ширине;
- заголовки полужирным шрифтом, с выравниванием по центру;
- междустрочный интервал – одинарный.

При наборе статьи исключить автоматический перенос слов. Запрещено уплотнение интервалов шрифта.

Объем публикации – не менее 5 полных страниц текста статьи (от введения до заключения включительно) и не более 10 страниц, включая таблицы и иллюстрации. Иллюстративный материал не должен перегружать статью (не более 4 рис.). Таблицы и иллюстрации скомпоновать с учетом вышеуказанных полей.

Таблицы создать средствами Microsoft Word и присвоить им имена: Таблица 1, Таблица 2 и т.д. В случае если таблица в статье одна, номер ей не присваивается. Название таблицы с порядковым номером (или номер таблицы без названия) располагается над таблицей: порядковый номер – справа, название таблицы – по центру. Текст таблицы должен быть набран шрифтом размером 10 пт с одинарным межстрочным интервалом.

Иллюстрации представить в тексте статьи, используя основные графические форматы (tif, jpg, bmp, gif), с именами Рис. 1, Рис. 2 и т.д. Все объекты должны быть черно-белыми (градации серого), четкого качества. Выравнивание – по центру. Рекомендуемое разрешение – 300 dpi. Названия иллюстраций и подписи к ним набираются шрифтом размером 10 пт с одинарным межстрочным интервалом. Не допускается выполнение рисунков в редакторе Microsoft Word. Минимальный размер иллюстраций – 70×70 мм, максимальный – 150×240 мм.

Иллюстративный материал приводится с обязательным указанием источника (в случае, если иллюстративный материал принадлежит авторам, это также указывать – в круглых скобках – (иллюстрация авторов).

Все символы, отсутствующие на клавиатуре, набирать только в Microsoft Word, используя «Вставку символа». Формулы также набирать как текст в Microsoft Word. Для набора таких формул, которые невозможно набрать как текст в Word, использовать редактор формул, встроенный в Microsoft Word, или Math Type. Формулы в статье, подтверждающие физическую суть исследования (процесса), представляются без развернутых математических преобразований. Формулы компонуются с учетом вышеуказанных полей (при необходимости использовать перенос формулы на следующую строку), помещаются по центру строки, в конце которой в круглых скобках ставится порядковый номер формулы (формулы и их порядковые номера - в таблицах с невидимыми границами). Ссылку на номер формулы в тексте также следует брать в круглые скобки. Следует применять физические величины, соответствующие стандарту СТ СЭВ 1052-78 (СН 528-80).

Иллюстрации, формулы, таблицы и ссылки на цитированные источники, встречающиеся в статье, должны быть пронумерованы в соответствии с порядком цитирования в тексте, формулы должны быть вставлены в таблицы с невидимыми границами (пробелами ничего не должно быть задано). При этом ссылка на литературные источники берётся в квадратные скобки.

Уникальность текста статьи должна составлять не менее 75 %.

ОБРАЗЕЦ ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЬИ

УДК 691.33

Иванов Иван Иванович

кандидат технических наук, доцент

E-mail: ivanov@kgasu.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1

разделительный интервал

Современные строительные материалы

разделительный интервал

Аннотация

Постановка задачи.

Результаты.
Выводы.

Текст аннотации (до 250 слов).

Особое внимание следует уделить аннотации: она должна в сжатой форме отражать содержание статьи. Логически аннотация, как и сам текст статьи, делится на три части: **Постановка задачи** (Цель исследования – выявить ……), **Результаты** (Основные результаты исследования состоят в ……) и **Выводы** (Значимость полученных результатов для строительной отрасли/архитектуры состоит в ……), которые также выделяются заголовками. Каждая из этих частей в краткой форме передает содержание соответствующих частей текста – введения, основного текста и выводов.

Ключевые слова: теплоизоляционные материалы, карбамидные пенопласты, модификация.

разделительный интервал

Для цитирования: (заполняется редакцией).

разделительный интервал

Текст статьи (от 5 до 10 страниц – от введения до заключения включительно).

1. Введение

Текст раздела.

разделительный интервал

2. Материалы и методы

Текст раздела.

разделительный интервал

3. Результаты

Текст раздела.

разделительный интервал

4. Обсуждение

Текст раздела.

разделительный интервал

5. Заключение

Текст раздела.

разделительный интервал

Список библиографических ссылок

разделительный интервал

Ivanov Ivan Ivanovich
candidate of technical sciences, associate professor
E-mail: ivanov@kgasu.ru
Kazan State University of Architecture and Engineering
The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

разделительный интервал

Modern building material

разделительный интервал

Abstract (перевод русскоязычной аннотации на английский язык)
Problem statement.
Results.
Conclusions.

Keywords: thermal insulating materials, of carbamide foams, updating.

разделительный интервал

References*

*Перечень ссылок, переведённый на английский язык (названия издательств, журналов и фамилии не переводить – писать в латинской транскрипции).

Перечень библиографических ссылок обязателен!

Библиографические ссылки представить в соответствии с ГОСТ Р 7.0.5-2008.

<u>Примеры:</u>

1. Васильев Ю. Э., Котлярский Э. В., Кочнев В. И., Менькина У. О., Сарычев И. Ю., Талалай В. В., Фролкина С. С., Шляфер В. Л. Межлабораторные совместные оценочные эксперименты по испытанию нефтяного дорожного битума и асфальтобетонных смесей. М. : Техполиграфцентр, 2020. 258 с.
2. Стрельникова Е. Ю., Труфляк И. С. Отличительные черты архитектуры первых образовательных учреждений Европы для детей с ментальными нарушениями // Вестник МГСУ. 2020. Т. 15. Вып. 6. С. 766–775. DOI: 10.22227/1997-0935.2020.6.766-77.
3. Тезисы докладов : сб. научных трудов 71-й Всероссийской научной конференции, Казань, 2019. 357 с.
4. Давиденко А. Ю., Гаврилова Ю. П. Применение BIM-технологии в современном строительстве : сб. ст. 4-й Международной научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов, магистров и бакалавров – Проектирование и строительство / Юго-Западный государственный университет. Курск, 2020. С. 100–104.
5. Способ изготовления стальной опоры многогранного сечения : пат. 2556603 Рос. Федерация. № 2014121172/03 ; заявл. 26.05.14 ; опубл. 10.07.15, Бюл. № 19. 5 с.
6. Доклад начальника Главного управления по делам печати Н. Татищева министру внутренних дел, 1913 г. // РГИА, Ф. 785. Оп. 1. Д. 188. Л. 307.
7. Гущин Б. П. Журнальный ключ : статья // ПФА РАН. Ф. 900. Оп. 1. Ед. хр. 23. 5 л.
8. Теория машин // Prognosis.ru : ежедн. интернет-изд. 2010. URL: http://www.prognosis.ru/logos.html (дата обращения: 02.12.2019).

Примеры перевода перечня ссылок на английский язык:

1. Vasilev Iu. E., Kotliarskii E. V., Kochnev V. I., Menkina U. O., Sarychev I. Iu., Talalai V. V., Frolkina S. S., Shliafer V. L. Inter-laboratory joint evaluation experiments for testing petroleum road bitumen and asphalt mixtures. M. : Tekhpoligraftsentr, 2020. 258 p.
2. Strelnikova E. Yu., Truflyak I. S. Distinctive architectural features of the first european educational in-stitutions for children with mental disabilities // Vestnik MGSU. 2020. Vol. 15. Iss. 6. P. 766–775. DOI: 10.22227/1997-0935.2020.6.766-77.
3. Thesises of reports : proceedings of the 71th All-Russian scientific conference, Kazan, 2019. 357 p.
4. Davidenko A. Iu., Gavrilova Iu. P. The use of BIM-technology in modern construction : dig. of art. 4th International scientific and practical conference of young scientists, graduate students, masters and bachelors – Design and Construction / Southwestern State University. Kursk, 2020. P. 100–104.
5. A method of making steel support of multi-faceted cross-section : patent 2556603 of the Rus. Federation. № 2014121172/03 ; decl. 26.05.2014; publ. 10.07.2015. Bull. in № 19. 5 p.
6. Report of chief of Central administrative of the Press N. Tatischev to the Minister of Internal Affairs, 1913 y. // RGIA, F. 785. Op. 1. D. 188. L. 307.
7. Guschin B. P. Journal key : article // PFA RAS. F. 900. Op. 1. St. un. 23. 5 sh.
8. Theory of machines // Prognosis.ru : daily. internet-edit. 2010. URL: http://www.prognosis.ru/logos.html (reference date: 02.12.2019).

Библиографические ссылки указываются по порядку в тексте.

В виде сносок библиографические ссылки не указывать.

Указание более 5-ти источников подряд – «пулеметных ссылок» – **не допускается**, (например, нельзя указывать «…В работах [1-6]…» и т.п.).

Если источник имеет **цифровой идентификатор объекта (DOI)**, то его также необходимо указать. Для определения наличия у публикации DOI рекомендуется использовать данный сервис: https://www.crossref.org/guestquery/

В список библиографических ссылок вносятся только опубликованные работы.

Название статьи должно отражать основную идею выполненного исследования, быть по возможности кратким. Аннотация (1 абзац от 500 до 1000 знаков с пробелами) должна ясно излагать содержание статьи и быть пригодной для самостоятельного опубликования.

В разделе **«Введение»** рекомендуется указать нерешенные ранее вопросы, сформулировать и обосновать цель работы и, если необходимо, рассмотреть ее связь с важными научными и практическими направлениями. Могут присутствовать ссылки на публикации последних лет в данной области, включая зарубежных авторов.

Основная часть статьи должна подробно освещать содержание исследований, проведенных автором (авторами). Полученные результаты должны быть освещены с точки зрения их научной новизны и сопоставлены с соответствующими известными данными. Основная часть статьи должна делиться на подразделы (с разъяснительными заголовками) и содержать анализ последних публикаций, посвященных решению вопросов, относящихся к данным подразделам.

В разделе **«Заключение»** должны быть в сжатом виде сформулированы основные полученные результаты с указанием их новизны, преимуществ и возможностей применения.

Язык публикации: русский или английский.

Подробные требования размещены на сайте журнала!

Если статья была или будет направлена в другое издание, необходимо сообщить об этом редакции. Ранее опубликованные статьи к рассмотрению не принимаются.

От авторов в редакцию журнала предоставляются следующие материалы:

- **Два экземпляра статьи в четко распечатанном виде;**
- **Электронный вариант** (Электронная версия статьи должна соответствовать варианту на бумажном носителе);
- **Две рецензии** (соответствующего уровня) от двух независимых организаций;
- **Экспертное заключение о возможности опубликования, оформленное в организации, откуда исходит рукопись**;
- **Сопроводительное письмо в предлагаемой форме** (см. сайт).

Материалы к публикации вложить в полиэтиленовый файл.

Датой поступления статьи считается день представления последнего из вышеуказанных материалов.

Представленные авторами научные статьи направляются на независимое закрытое рецензирование специалистам по профилю исследования, членам редакционной коллегии. Основными критериями целесообразности публикации являются новизна полученных результатов, их практическая значимость, информативность. В случае, когда по рекомендации рецензента статья возвращается на доработку, датой поступления считается день получения редакцией ее доработанного варианта. К доработанной статье в обязательном порядке прикладываются ответы на все замечания рецензента. Статьи, получившие отрицательные заключения рецензентов и не соответствующие указанным требованиям, решением редакционной коллегии журнала не публикуются и не возвращаются (почтовой пересылкой). Редакционная коллегия оставляет за собой право на редактирование статей с сохранением авторского варианта научного содержания.

Журнал «Известия КГАСУ» выходит 4 раза в год, тиражом 500 экз. Журнал является подписным изданием и включен в общероссийский каталог ОАО Агентства «РОСПЕЧАТЬ», индекс издания – 36939.

Авторы, являющиеся членами редколлегии и (или) подписчиками журнала, имеют преимущественное право на опубликование своих статей.

СТАТЬИ ПУБЛИКУЮТСЯ БЕСПЛАТНО.

Научная статья в полном объеме будет также размещена на официальном сайте «Известия КГАСУ» – электронном научном издании (ЭНИ) http://izvestija.kgasu.ru/ (Свидетельство о регистрации средства массовой информации Эл № ФС 77-31046 от 25.01.2008).

Все материалы направлять по адресу: 420043, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1, ОПИР, комн. 79. Телефон (843) 510-46-39, 236-26-88 (тел./факс). E-mail: patent@kgasu.ru.

Банковские реквизиты:
КГАСУ
420043, г. Казань, ул. Зеленая, 1
ИНН 1655018025 КПП 165501001
Сч. 40501810292052000002
в ГРКЦ НБ РТ Банка России г. Казань
БИК 049205001
Л/с 20116Х06860

Указать назначение платежа: Код дохода: 00000000000000000130 реализация издательской деятельности.

Известия КГАСУ
2021 г., № 2 (56)

Гл. редактор: Низамов Р.К.
Учредитель и издатель:
ФГБОУ ВО «Казанский государственный архитектурно-строительный университет»

Макет и редактирование: Бибикина А.Р.

Адрес редакции: 420043, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1
Тел. для справок: (843) 510-46-39
Адрес издателя: 420043, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1

Журнал зарегистрирован: Регистр. ПИ № ФС 77-25136
Электронное периодическое издание: http://izvestija.kgasu.ru Регистр. Эл № ФС 77-31046
Федеральная служба
по надзору за соблюдением законодательства в сфере массовых коммуникаций
и охране культурного наследия.
Индекс издания – 36939
Общероссийский каталог ОАО Агентства «РОСПЕЧАТЬ»
Распространение: свободная цена

Подп. к печати 30.06.2021 Формат 60×84/8
Заказ 104 Бумага тип. № 1
Усл.-печ. л. 22,0 Уч.-изд. л. 22,5
Тираж 500 экз.
I завод-100

Дата выхода в свет: 30.06.2021

Отпечатано в Издательстве КГАСУ: 420061, г. Казань, ул. Н. Ершова, д. 31Б